Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais - PPGCTA

Gabriela Mateus de Fontes Silva

INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO RIO BURANHÉM

Orientador: Prof. Dr. João Batista Lopes da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Fabrício Berton Zanchi

PORTO SEGURO - BA

ABRIL – 2019

Gabriela Mateus de Fontes Silva

INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA DO RIO BURANHÉM

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Sul da Bahia e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. João Batista Lopes da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Fabrício Berton Zanchi

PORTO SEGURO - BA

ABRIL - 2019

Dados internacionais de catalogação na publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul da Bahia – Sistema de Bibliotecas

S586i Silva, Gabriela Mateus de Fontes
Influência do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica do Rio Buranhém. / Gabriela Mateus de Fontes Silva. – Porto Seguro, 2019.
86 p.

Orientadora: João Batista Lopes da Silva
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais.

1. Geoprocessamento. 2. Comportamento Hidrológico. 3. Morfologia. 4. Mata Atlântica. 5. Modelagem Estatística. I. Silva, João Batista Lopes da. II. Título.

CDD: 910.285

Bibliotecário: Lucas Sousa Carvalho – CRB5/1883

Universidade Federal do Sul da Bahia
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais
Centro de Formação em Ciências Ambientais

Ata da Defesa Pública de Dissertação de Mestrado

Aos 29 dias do mês de abril do ano de 2019, às 14:00 horas na sala Mata Medonha, UFSB - Campus Porto Seguro, reuniram-se os membros da banca examinadora composta pelos professores: João Batista Lopes da Silva (orientador e presidente da banca), Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes (membro interno) Elfany Reis do Nascimento Lopes (membro interno) e Danilo Paulúcio da Silva (membro externo) a fim de arguirem a mestranda **Gabriela Mateus de Fontes Silva,** cujo trabalho intitula-se **"Influência do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da bacia do rio Buranhém".** Aberta a sessão pelo presidente da mesma, coube ao candidato, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar, sendo em seguida questionada pelos membros da banca examinadora, tendo dado as explicações que foram necessárias. Os membros da banca consideraram o trabalho de dissertação:

(X) aprovado

( ) aprovado com profundas modificações

( ) não aprovado, devendo ser realizada nova qualificação no prazo de ___ meses.

Recomendações da Banca:

Banca Examinadora:

João Batista Lopes da Silva (UFSB)
Orientador e presidente da banca

Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes (UFSB)
Membro interno

Elfany Reis do Nascimento Lopes (UFSB)
Membro interno

Danilo Paulúcio da Silva (UESB)
Membro externo

Candidato:

Gabriela Mateus de Fontes Silva

AGRADECIMENTOS

À UFSB, ao IFBA e todos aqueles que colaboram para o ensino público de qualidade, meu reconhecimento, orgulho e gratidão.

Aos professores que foram fundamentais para este trabalho: João Batista pela orientação e confiança, pelas partilhas de conhecimento e experiência; Fabrício Zanchi pela coorientação, disponibilidade, apoio e paciência; Marcos Bernardes pelo incentivo e exemplo de profissional e ser humano, também aos demais membros da banca examinadora, Danilo Paulúcio e Elfany Reis, pelas valiosas contribuições; e todo o corpo docente do PPGCTA por viabilizarem este programa.

Aos colegas do mestrado pelo companheirismo.

Aos grandes responsáveis por tudo: meus pais, familia (de sangue e de coração), amigos e companheiros de caminhada.

Às pessoas que promovem mudanças através do bom exemplo. Aos educadores e líderes capazes de transformar pessoas.

“Eu sou porque nós somos” - *Ubuntu*.

Gratidão!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

“A vida não conhece tempo, conhece fluxo”.
Ernest Gotsch

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 12
O Buranhém 14
Localização e caracterização da área de estudo 17
OBJETIVOS 21
Capítulo 1 22
CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BURANHÉM E ANÁLISE TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BURANHÉM ENTRE 1985 e 2017 22
INTRODUÇÃO 23
MATERIAIS E MÉTODOS 25
Elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo e análise temporal de 1985 a 2017 26
RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
Análise Morfométrica 30
Comparação entre os Mapeamentos disponíveis 35
Mapeamento Anual do uso e cobertura do solo entre 1985 e 2017 37
Evolução do uso e ocupação do solo e caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Buranhém 42
CONSIDERAÇÕES 46
Capítulo 2 48
COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO E DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO RIO BURANHÉM - BA 48
INTRODUÇÃO 49
MATERIAIS E MÉTODOS 50
Seleção e Análise dos Dados Hidrometeorológicos 50
RESULTADOS E DISCUSSÃO 52
Comportamento Hidrológico 52
Disponibilidade Hídrica e Parâmetros de Referência 57
CONSIDERAÇÕES 60
Capítulo 3 62
USO DE BASES DE DADOS NACIONAIS PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ALTERAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA DISPONIBILIDADE HIDRICA: 62
Estudo de caso na Bacia Hidrográfica do rio Buranhém 62
INTRODUÇÃO 62
MATERIAL E MÉTODOS 63
Variáveis Hidrológicas 64
Análises estatísticas 64
RESULTADOS 65
Uso e ocupação do solo entre os anos de 1985 e 2017 65
Análise dos dados hidrometeorológicos 67
Análise de Correlação 69
CONSIDERAÇÕES 73
CONSIDERAÇÕES FINAIS 74
CONCLUSÃO GERAL 76
REFERÊNCIAS 77

Influência do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da bacia do rio Buranhém

RESUMO GERAL

Considerando que o conhecimento das variáveis que influenciam na disponibilidade hídrica auxiliam a gestão e o melhor aproveitamento dos recursos hídricos e que o uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas está relacionado direta e indiretamente com a quantidade e qualidade da água nos cursos de água, este trabalho buscou verificar a influência da alteração do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica do rio Buranhém, localizado na IV Região de Planejamento e Gestão das Águas do estado da Bahia. O trabalho foi dividido em três etapas: I. Caracterização fisiográfica da bacia e análise temporal do uso e ocupação do solo; II. Estudo do comportamento hidrológico; e III. Análise conjunta dos dados hidrológicos e uso e ocupação do solo via correlação. Todos os dados utilizados foram secundários, adquiridos em bases oficiais, como o sítio eletrônico da Agência Nacional de Águas (ANA) e do projeto MapBiomas. Os dados pluviométricos e fluviométricos abrangem o período de 1972 a 2017, enquanto os de uso e ocupação do solo são referents aos anos de 1985 a 2017. O desmatamento na região precede este período, visto que desde 1985 a pastagem já era a matriz da paisagem, enquanto as análises da vazão e precipitação anuais demonstraram uma mudança no comportamento hidrológico entre as décadas de 70 e 80. Entre 1985 e 1991 a perda de vegetação nativa, foi expressiva, sendo substituída por pastagem, que começou a ser substituida após 2001 pelo monocultivo do Eucalipto e vegetação florestal em estágio inicial de regeneração. As vazões demonstraram que o rio é pouco perene, com forte influência da precipitação anual, que por sua vez apresenta grande variabilidade anual. Os parâmetros estudados permitiram inferir que a baixa regularidade das vazões é agravada pelo elevado escoamento superficial em detrimento a infiltração no solo e recarga dos aquíferos. As análises de correlação demonstraram relação inversa entre a vegetação florestal e as vazões de permanência Q_{50} e Q_{95}, o que pode estar associado ao aumento da saida de água do sistema com o crescimento da vegetação, porém isto apenas confirmar-se-ia com o cálculo do balanço hídrico da bacia.

Palavras-chave: Geoprocessamento, comportamento hidrológico, morfologia, Mata Atlântica, modelagem estatística.

Influence of land use and occupation on the water availability of the Buranhém river basin

ABSTRACT

Considering that the knowledge of variables influencing water availability helps the management and the better use of water resources and that land use and occupation in river basins is directly and indirectly related to the quantity and quality of water in the watercourses, this work aimed to verify the influence of the change of land use and occupation on the water availability of the Buranhém river, located in the 4th Region of Planning and Water Management of the state of Bahia, Brazil. The work was divided in three stages: I. Physiographic characterization of the basin and temporal analysis of the use and occupation of the soil; II. Study of hydrological behavior; and III. Joint analysis of hydrological data and soil use and occupation by correlation. All data used were secondary, acquired on official bases, such as the National Agency for Water (ANA) and the MapBiomas project. The pluviometric and fluviometric data cover the period from 1972 to 2017, while those of land use and occupation cover the years 1985 to 2017. Deforestation in the region precedes this period, since 1985 the pasture was already the matrix of the landscape , while annual flow and precipitation analyzes showed a change in hydrological behavior between the 1970s and 1980s. Between 1985 and 1991 the loss of native vegetation was significant, being replaced by pasture, which began to be replaced after 2001 by monoculture of Eucalyptus and forest vegetation at an early stage of regeneration. The flows showed that the river is not very perennial, with a strong influence of the annual precipitation, which in turn presents great annual variability. The studied parameters allowed to conclude that the low regularity of the flows is aggravated by the high surface runoff in detriment to the infiltration in the soil and recharge of the aquifers. The correlation analyzes showed an inverse relation between the forest vegetation and the Q_{50} and Q_{95} permanence flows, which may be associated with the increase of the water output of the system with the vegetation growth, but this would be confirmed by the calculation of the water balance of the basin.

Keywords: Geoprocessing, hydrological behavior, morphology, Atlantic Forest, statistical modeling.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Classes de cobertura identificadas pelo MapBiomas versão 3.0 27
Tabela 1.2 - Classes de uso e ocupação do solo mapeadas na bacia hidrográfica do rio Buranhém pelo projeto do Fórum Florestal 29
Tabela 1.3 - Legenda Simplificada, ou chave de ligação entre as diferentes bases de dados, para comparação das bases de dados 30
Tabela 1.4 - Declividades na bacia hidrográfica do rio Buranhém a montante da estação fluviométrica da Fazenda Limoeiro segundo a classificação da EMBRAPA (1979) 33
Tabela.1.5 - Parâmetros morfométricos da bacia do rio Buranhém e dos cursos de água no trecho a montante da estação fluviométrica 34
Tabela.1.6 - Áreas mapeadas pelo MapBiomas (M) e Fórum Florestal (FF) e diferença (Dif.) entre os dois mapeamentos (km²) para 1990, 2001 e 2007 35
Tabela.1.7 - Áreas mapeadas (km²) pelo Projeto MapBiomas entre os anos de 1985 e 2017 na bacia do rio Buranhém: Formação Florestal (FF),
Formação Savânica (FS), Mangue (M), Floresta Plantada/Eucalipto (FP), Pastagem (P), Mosaico de Agricultura e Pastagem (AP), Infraestrutura Urbana (U), Outra Área não Vegetada (O), Apicum (Ap) Rios e Lagos (A) 38
Tabela 1.8 - Porcentagem de variação anual das classes de uso e ocupação do solo na bacia do rio Buranhém entre 1985 e 2017: Formação Florestal (FF), Formação Savânica (FS), Floresta Plantada/Eucalipto (FP), Pastagem (P), Mosaico de Agricultura e Pastagem (AP), Infraestrutura Urbana (U), Outra Área não Vegetada (O) 39
Tabela 1.9 - Áreas das classes mapeadas na bacia para os anos de 1990, 2001, 2007 (km²). .. 42
Tabela 2.1- Postos pluviométricos selecionados. 51
Tabela 2.2 - Equações de regressão linear para preenchimento de falhas nas séries de precipitação anual 51
Tabela 2.3 - Precipitação anual média (P) (mm) nas estações com área de influência na área de drenagem da estação fluviométrica do rio Buranhém, e média (Pm) pelo método de Thiessen, para o período de 1971 a 2017 54
Tabela 2.4 - Avaliação da estacionariedade das series de precipitação anual (mm) das estações com área de influência na bacia do rio Buranhém e média anual (Pm) e das vazões média anual (Qméd), máxima (Qmáx) e minima (Qmin) médias (m³/s) a 5% de significância para os períodos 1971 a 1991 (A) com 1992 a 2017 (B), onde s² é a variância da série, p é a probabilidade 55
Tabela 2.5 - Vazões para o período de 1971 a 2017, exceto os anos de 1991 a 19960(m3/s) .. 58
Tabela 2.6 - Q_{95} anual (m3/s) de 1972 a 2017 59
Tabela 2.7 - Análise de estacionariedade das séries de precipitação (mm) e vazão (m³/s) para os períodos de 1985 a 2003 (A) com 2003 a 2017 (B)* 60
Tabela 3.1- Uso e ocupação do solo (km²) no trecho da bacia do rio Buranhém à montante da estação fluviométrica entre 1985 e 2017 66
Tabela 3.2 - Estatísticas descritivas das variáveis e resultado do teste de normalidade 69
Tabela 3.3 - Correlações de Pearson e Spearman entre as variáveis de uso e ocupação do solo com as variáveis hidrometeorológicas para a bacia do rio Buranhém 70
Tabela 3.4 - Correlações significativas de Pearson e Spearman entre as variáveis estudadas ao nível de 5% de probabilidade 71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Buranhém.....18
Figura 1.2 - Características físicas da bacia do Buranhém: formas de relevo e substrato rochoso. 19
Figura 1.3 - Sistemas de Aquíferos Aflorantes - na área da bacia do Buranhém 20
Figura 1.4 - Distribuição das chuvas no extremo sul da Bahia: Isoietas médias anuais (mm).21
Figura 1.1 - Bacia do rio Buranhém e sub-bacias hidrográficas onde (a) é o trecho retificado e (b) é a foz do rio 31
Figura 1.2 - Hipsometria e Declividade com detalhes para os padrões de drenagem desndrítico (c) e paralelo (d) e foto do local da estação fluviométrica (e).....32
Figura 1.3 - Comparação de amostras do MapBiomas (3) e do Fórum Florestal (2) para o ano de 2007 com imagens do Google Earth (1).....36
Figura 1.4 - Uso e ocupação do solo em 1985 e em 2017, onde (e) é área urbana de Eunápolis, (f) o distrito de Monte Alegre e (g) uma área rural em Guaratinga.....41
Figura 1.5 - Uso e ocupação do solo em 1990, 2001, 2007 e 2013, (h) é a área com os maiores fragmentos em estágio avançado e (i) uma área com campos úmidos degradados.....44
Figura 2.1 - Estações pluviométricas e fluviométrica e áreas de influência.....50
Figura 2.2 - Sazonalidade da Vazão média mensal (m3/s) e da Precipitação (mm) na bacia do rio Buranhem e imediações para o período de 1971 a 2017.....53
Figura 2.3 - Análise de duplas massas para os dados anuais preenchidos das estações pluviométricas 54
Figura 2.4 - Variabilidade anual (valores normalizados pela média e desvio padrão) da precipitação média e da vazão média na bacia do rio Buranhém.....56
Figura 3.1- Classes mapeadas pelo MapBiomas na área de estudo - ganhos e perdas (km^2) entre 1985 e 2017. 67
Figura 3.2 - Precipitação anual (mm) nas estações e média na bacia pelo método de Thiessen. 68
Figura 3.3 - Vazões anuais (m^3/s) médias, mínimas, máximas e de permanência no ano (50, 90 e 95%) registradas na estação fluviométrica. 68

INTRODUÇÃO GERAL

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), criada pela lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, tem como diretriz a articulação da gestão dos recursos hídricos com a gestão do uso do solo, reconhecendo as bacias hidrográficas como unidades básicas para tal fim.

A efetiva gestão de uma bacia ou região hidrográfica envolve esforços de diversas áreas do conhecimento, desde a hidrologia aplicada e outras ciências exatas e da terra até ciências sociais e políticas públicas, tendo uma abordagem interdisciplinar e inerente às ciências ambientais. Considerando os multiplos fatores que influenciam nos sistemas hídricos, esta perspectiva é indispensável para assumir uma unidade de estudo e gestão. As bacias, por exemplo, são delimitadas pelas características topográficas do terreno e formam uma rede de drenagem fluvial que interconecta territórios, compostos por conjuntos de elementos físicos, biológicos, sociais e políticos que interagem entre si e podem modificar todo o sistema (Schussel et al, 2015). Por este motivo, a análise integrada auxilia no diagnóstico e planejamento ambiental das bacias hidrográficas, de modo a identificar os impactos diretos e indiretos na quantidade e qualidade da água causados pelas atividades antrópicas ou por fenômenos naturais.

Escoamento superficial, clima, características geomorfológicas e cobertura de vegetação são algumas das variáveis que influenciam nos processos hidrológicos, e as suas escalas espaciais e temporais demonstram a complexidade do estudo do comportamento das bacias hidrográficas, que exige esforços para desenvolver métodos de pesquisa que combinem holismo e reducionismo diante da grande heterogeneidade deste sistema (Cheng e Li, 2015), onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório (Rocha, 2010). Nesse sentido a abordagem por bacia hidrográfica é considerada mais racional, por apresentar uma maior interação e efeito sinérgico quanto ao uso e ocupação do solo (Gajbhiye et al, 2014). Visto que os efeitos do uso desordenado causam impactos negativos (Latuf et al., 2007) e que a cobertura do solo interfere no ciclo hidrológico principalmente através da evapotranspiração e interceptação da água da chuva (Farley et al, 2005), e na capacidade de infiltração de água no solo (Zhang et al., 2001).

As modificações no uso e ocupação do solo tendem a promover alterações no seu regime hidrológico (Santos et al., 2010), além das interferências diretas, como barramento e captação de água superficial ou subterrânea (Rocha, 2010). Outro fator relevante é o manejo do solo agrícola e o tipo de cultura implantada, pois se as condições de infiltração ficam

deterioradas, tem-se um aumento do escoamento superficial com riscos de erosão e perda de solo, e uma redução da alimentação do aquífero que reflete nas vazões mínimas (Tucci, 2002).

Ainda, para sustentar a gestão dos recursos hídricos, se faz necessário a realização de estudos hidrológicos e climáticos regionais (Genz e Tanajura, 2013), que complementam as características intrísecas da bacia, como tipo de solo e morfometria e ajudam a explicar o comportamento hidrológico (Villela e Mattos, 1975), corroborando para a compreensão holística do sistema.

A variabilidade sazonal, interanual e interdecadal do escoamento fluvial, por exemplo, é correlacionada com variações climáticas e apresenta um claro componente espacial (Costa et al, 2009). Considerando que o efeito do aquecimento global e das mudanças climáticas interfere nesta variabilidade, acompanhar essas tendências e investigar possíveis mecanismos da variabilidade local da precipitação também podem apoiar a gestão da água e os tomadores de decisão (Genz e Tanajura, 2013), visto que as mudanças na atmosfera e a variabilidade da biosfera contribuem para explicar mudanças não somente nas vazões, mas também nos condicionantes naturais que dão sustentabilidade ao meio natural, resultando em alterações no ciclo hidrológico (Tucci, 2002).

A disponibilidade hídrica depende da oferta e demanda, no caso da disponibilidade superficial, a avaliação do quantitativo disponível leva em consideração principalmente as vazões nos cursos de água. Devido a aleatoriedade dos fatores que influenciam nos processos hidrológicos e a sua interdependência, estes são ditos estocásticos, e portanto requerem análises estatísticas (Naghettini e Pinto, 2007), como por exemplo as vazões de permanência, definidas como a vazão igualada ou superada num dado período e utilizadas como referência para concessão de outorgas de uso da água, considerando uma quantidade em que o uso é garantido, associado a um risco de falha (Cruz e Silveira, 2007).

Diversos estudos realizados em bacias hidrográficas de diferentes tamanhos e características buscaram explicar a influência do uso e ocupação do solo no ciclo hidrológico e na disponibilidade hídrica, porém devido à grande complexidade desses sistemas, ainda não há um concenso científico sobre os melhores métodos a serem aplicados, visto que estes também são condicionados a questões técnicas, como a existência e disponibilidade de dados representativos e em escalas temporais e espaciais compatíveis com os objetivos almejados.

Em um estudo realizado na bacia do Alto Paraguaçu, os dados de vazão, precipitação e uso do solo, ajustados em um modelo de regressão exponencial, permitiram detectar a influência da variação da precipitação na disponibilidade de água, em que o cenário foi agravado pelo grande aumento dos usos antrópicos do solo, que refletiu na diminuição do

fluxo médio mínimo observado em dois períodos (Calijuri et al, 2015). Este tipo de dado também foi utilizado em regressões lineares que mostraram boa correlação entre escoamento e precipitação nas séries anuais, porém os autores reconheceram as limitações metodológicas relacionadas às escalas espaciais e temporais e à ausência de uma variável real que expresse a expansão do uso do solo, visto que outras características como climatologia, topografia, rocha nua e tipo de solo também interferem no efeito da mudança de cobertura, que por sua vez pode ser mascarado pela variabilidade do clima, exigindo também uma interpretação baseada na literatura (Morán-Tejeda et al, 2010).

Considerando que a ciência das bacias hidrográficas não deve se restringir a uma ciência local, mas sim buscar uma teoria universal para estender os estudos de uma bacia para outra, os processos envolvidos podem também ser simulados considerando uma perspectiva estatística, ou admitindo um sistema que obedece às leis físicas (Cheng e Li, 2015). Apesar da busca por uma metodologia que possa aplicar-se à todas as bacias hidrográficas, estas relações podem apresentar muitas particularidades, pois a inércia hídrica varia de bacia para bacia, dificultando o consenso geral sobre o tema. Nesse sentido, as heterogeneidades e não linearidades dos processos hidrológicos aumentam com a escala da bacia e são um fator determinante da forma como ela deve ser representada, buscando através da discretização identificar as características que podem produzir uma resposta hidrológica mais uniforme (Santos, 2009).

O Buranhém

O rio Buranhém, também conhecido como rio do Peixe, nasce no leste de Minas Gerais, no município de Santo Antônio do Jacinto, passando pelos municípios baianos de Guaratinga, Eunápolis e Porto Seguro, e desagua no oceano através de uma foz do tipo estuário. Trata-se de uma fonte de recurso hídrico importante para o desenvolvimento econômico e social da região, que apresentou maior desenvolvimento após a década de 70, demonstrado nos censos demográficos. Porto Seguro, por exemplo, possuía 33.108 habitantes em 1970, com aumento de 383% até 2010 (IBGE, 1994; IBGE, 2010). Segundo Agência Nacional de Águas (ANA), o Buranhém é o manancial que abastece mais de 88.000 pessoas em Eunápolis, e também foi indicado como novo manancial para abastecer a população urbana de Porto Seguro até 2025 (ANA, 2018).

Segundo as projeções do ultimo censo, a população de Porto Seguro é estimada em 146.625 habitantes, de Eunápolis em 112.318, Guaratinga 20.991 e Santo Antônio do Jacinto em 11.677 habitantes (IBGE, 2018). Os três municípios baianos fazem parte do território de

identidade da Costa do Descobrimento. Esta divisão territorial é importante sob o ponto de vista do planejamento das políticas públicas do Estado, visto que se consideram os municípios que fazem parte do mesmo território de identidade com características ambientais, econômicas, sociais, culturais, artísticas e políticas institucionais semelhantes (SEI, 2015).

A região está localizada no bioma Mata Atlântica, com fisionomias vegetais de floresta ombrófila densa, próximo ao litoral, e floresta estacional semidecidual em partes do município de Guaratinga e em Santo Antônio do Jacinto (IBGE, 2017). O litoral da Costa do Descobrimento começou a ser desmatado para exploração da madeira da Mata Atlântica, que foi a principal atividade econômica da região até o final do século XVIII, quando foram introduzidos o café e o cacau, mas ainda assim a região se manteve isolada do restante do estado, com pouca exploração agrícola em núcleos de povoamento (SEI, 2015), dessa forma, os fragmentos florestais próximos ao litoral se mantiveram mais preservados e como observado nos mapas históricos da vegetação remanescente (Figura 1), o desmatamento ocorreu com maior intensidade na região oeste entre as décadas de 60 e 70. Neste período as transformações socioeconômicas na região também foram perceptíveis, quando a integração com a economia estadual e nacional foi facilitada pela implantação da rodovia federal BR-101. Tal fato resultou em nova dinâmica local que associada aos incentivos fiscais concedidos pelo governo para reflorestamento, estimulou a expansão da cultura do eucalipto e a instalação de empresas de papel e celulose (Almeida et al, 2008).

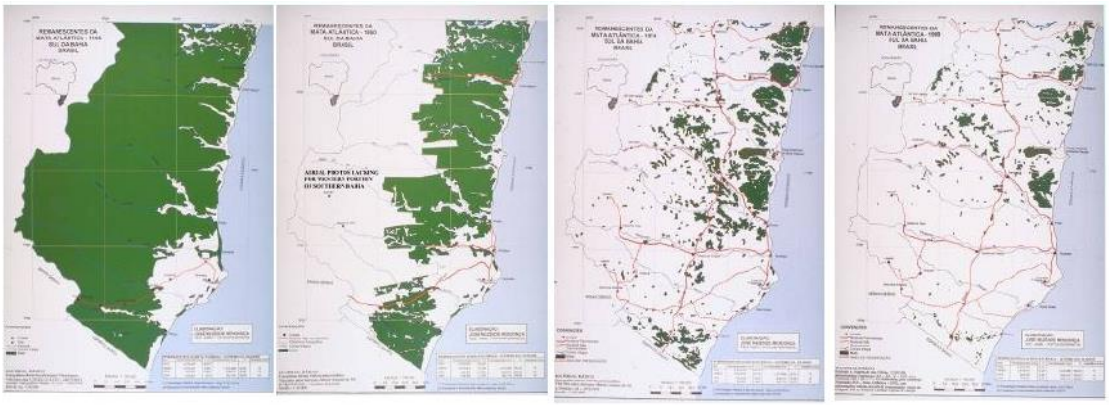


Figura 1 - Remanescentes florestais da Mata Atlântica em 1945, 1960, 1973 e 1990.
Fonte: Mendonça et al (1994).

Com relação às atividades desenvolvidas nos municípios que compõe a bacia do Buranhém, de acordo com o último Censo Agropecuário realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, dentre as unidades de produção dedicadas, total ou parcialmente, à exploração agropecuária, florestal e aquícola, em termos de estabelecimentos,

em Santo Antônio do Jacinto 83% das áreas estão ocupadas por pastagens, sendo a pecuária bovina a principal atividade, assim como em Guaratinga, que possui um dos maiores rebanhos da Bahia - quase 109 mil cabeças, onde as pastagens representam 72% da área contabilizada pelo censo, já em Eunápolis 44% dessas áreas são pastagens, enquanto Porto Seguro estas representam 38% (IBGE, 2017).

As pastagens, agricultura e silvicultura associadas às áreas urbanas, formam sistemas antrópicos com diferentes demandas e impactos nos recursos hídricos. Para preservação destes recursos, são previstas ações que buscam o fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) da região e a implementação dos respectivos planos de bacia e demais instrumentos de gestão, bem como a normatização da expansão do eucalipto e outros monocultivos em áreas propensas ao eventual agravamento do déficit hídrico e o desenvolvimento de mecanismos de Pagamentos por Serviços Ambientais (PMG/SMMAT, 2016 e PMPS/SMA, 2014).

Portanto, o rio Buranhém possui importancia econômica e social para a Costa do Descobrimento, e um papel fundamental para manter o equilíbrio de vários ecossistemas. Tal relevância incluiu o rio e sua bacia nos Planos Municipais da Mata Atlântica (PMMA), por fazer parte das áreas de entorno do Parque Nacional do Pau Brasil em Porto Seguro (PMPS/SMA, 2014), Eunápolis e Guaratinga, onde questões que envolvem a contaminação por agrotóxicos e efluentes são consideradas críticas, bem como a degradação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e o assoreamento dos cursos de água (PMG/SMMAT, 2016).

A PNRH e a Lei do Estado da Bahia nº 11.612/2009, prevêem a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso e ocupação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estadual de recursos hídricos. Diante da importância da água para o desenvolvimento, seus múltiplos usos e conflitos relacionados, o planejamento da ocupação de uma bacia hidrográfica é necessário para atender ao aumento da demanda por este recurso (Latuf et al., 2007) em quantidade e qualidade, buscando a sustentabilidade no sentido mais amplo, onde o diagnóstico é a primeira etapa para definir, por exemplo, prioridades para outorga da água e a criação de áreas sujeitas a restrição de uso.

Em 1997 a Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (substituída posteriormente pelo Instituto de Gestão das Águas e Clima - Ingá, e depois pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA) viabilizou o Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH) das Bacias Hidrográficas do Extremo Sul, porém este documento baseou-se em dados relativos ao período entre as décadas de 60 e 90, sendo a sua aplicação atual questionável diante das transformações ocorridas nas últimas décadas, a nível local e global.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) foi aprovado apenas em 2005 e no ano seguinte, através da Lei nº 10.432/06 foram implantados os primeiros Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH's) na Bahia. Na Bahia é o INEMA que exerce o papel de Secretaria-Executiva dos Comitês e de instituição delegatária enquanto ainda não forem criadas as agências de bacias. Em 2009 a Resolução nº 43 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH) publicou nova divisão hidrográfica da Bahia em 26 Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA's), a partir da qual o Buranhém ocupa a maior parte da RPGA IV, que é constituída também pelas bacias hidrográficas dos rios Santo Antônio, João de Tiba, Frades, Caraíva, Queimado e pequenos rios próximos à linha de costa. Finalmente, através do decreto nº 14.244 de 18 de dezembro de 2012, foi criado o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Frades, Buranhém e Santo Antônio (CBHFRABS), sem plano de gestão até a presente data.

A ANA (2005) destaca os objetivos estratégicos para o Plano de Bacia através: do diagnóstico sócio-ambiental da bacia e sobre o planejamento e desenvolvimento de ações regionais de aproveitamento, uso e conservação dos recursos; da avaliação das alternativas dos usos dos recursos hídricos; da proposição de ajustes nas políticas, planos, programas e projetos setoriais para compatibilizar ações mitigadoras e compensatórias aos impactos sócio-ambientais; criação das diretrizes para implementação dos instrumentos para a gestão integrada dos recursos hídricos; do aperfeiçoamento dos mecanismos de participação pública. E para isto o Plano precisa apresentar claramente as metas de acordo com os diagnósticos realizados para diferentes cenários a partir de parâmetros ou variáveis que possam representar os principais aspectos ambientais (Tucci e Mendes, 2006).

Assim, em razão do processo histórico de desmatamento para implantação de culturas agrícolas, florestais e atividade agropecuária, é de suma importância para a região realizar o diagnóstico da bacia e conhecer a influência que a alteração de uso e ocupação do solo apresenta na disponibilidade hídrica.

Localização e caracterização da área de estudo

A ottocodificação de bacias hidrográficas utiliza as áreas de drenagem da rede hidrográfica como seu critério principal, dividindo a América do Sul em dez regiões hidrográficas (Pfafstetter, 1989). Segundo esta classificação, realizada pela ANA[1] o seu código de nível 5 é 77514 e o curso principal é de sexta ordem.

[1] http://www.metadados.inde.gov.br/geonetwork/srv/por/metadata.show?id=381957&currTab=simple

Por abranger um município mineiro, o Buranhém é o único rio da RPGA IV de domínio federal, e nesta divisão esta parte da bacia não é incluída.

A área de estudo está localizada entre as coordendas 16° 15’ e 16° 45’ Sul e 39º e 40,5° Oeste, limitada ao norte com a bacia do rio João de Tiba, e ao sul com a bacia do rio dos Frades que também deságuam em Porto Seguro - Bahia, no interior, faz limite com as bacias do rio Jequitinhonha e Jucuruçu. A bacia hidrográfica, com área de aproximadamente 2.595 km^2 (Figura 2), foi delimitada, conforme metodologia descrita no Capítulo 1, a partir da topografia utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA/INPE[2].

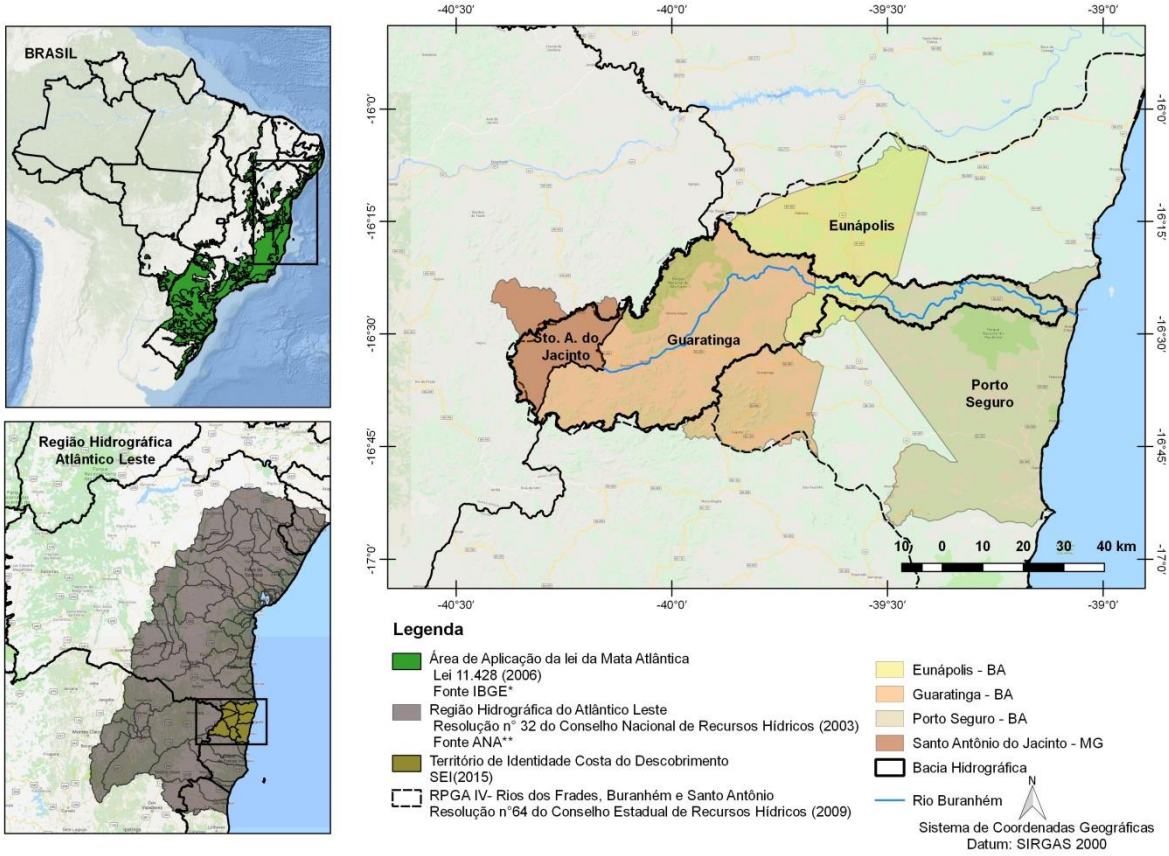


Figura 1.1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Buranhém[3]

As pricipais características geomorfológicas da bacia (Figura 3) são os planaltos soerguidos com relevo plano a colinoso onde predomina o embasamento cristalino, os tabuleiros costeiros do grupo barreiras e os modelos de acumulação fluvial e fluviomarinha.

[2] http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/
[3] Fontes dos dados vetoriais: http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork_ibge/srv/por/home
http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home
http://www.metadados.inde.gov.br/geonetwork/srv/por/metadata.show?id=70952&currTab=simple

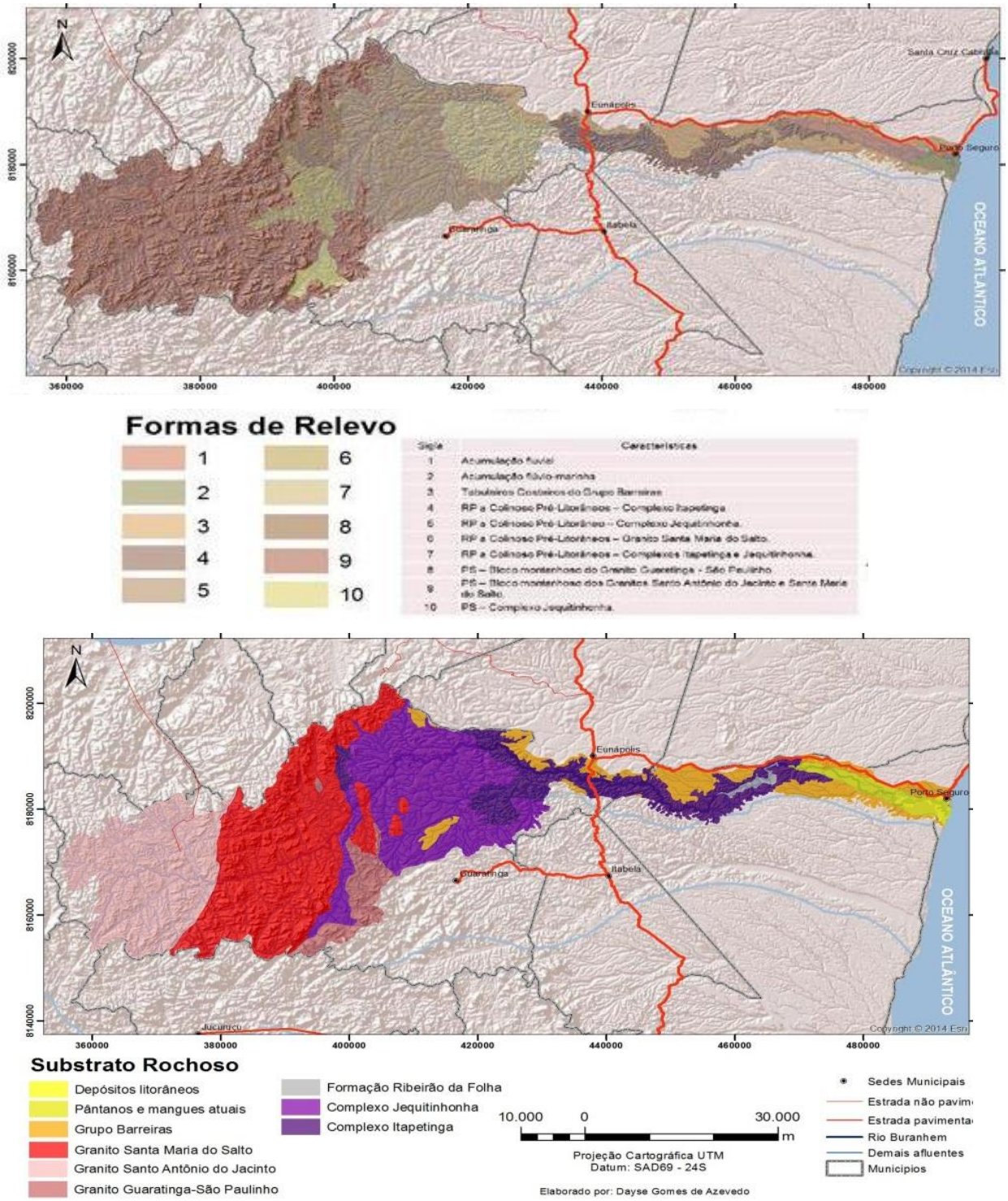


Figura 1.2 - Características físicas da bacia do Buranhém: formas de relevo e substrato rochoso.

Fonte: Azevedo et al, (2016).

A distribuição dos sistemas de aquíferos na bacia (Figura 4) mostra uma variação na produtividade de água entre a nascente e a foz. Estas características, associadas às informações do Mapa Hidrogeológico da Região Nordeste do Brasil, mostram que na área da

bacia predominam os Aquíferos Fissurais com produtividade baixa ou muito baixa e o aquífero poroso, de produtividade elevada, ocorre apenas na região litorânea e pré litorânea (IBGE, 2013).

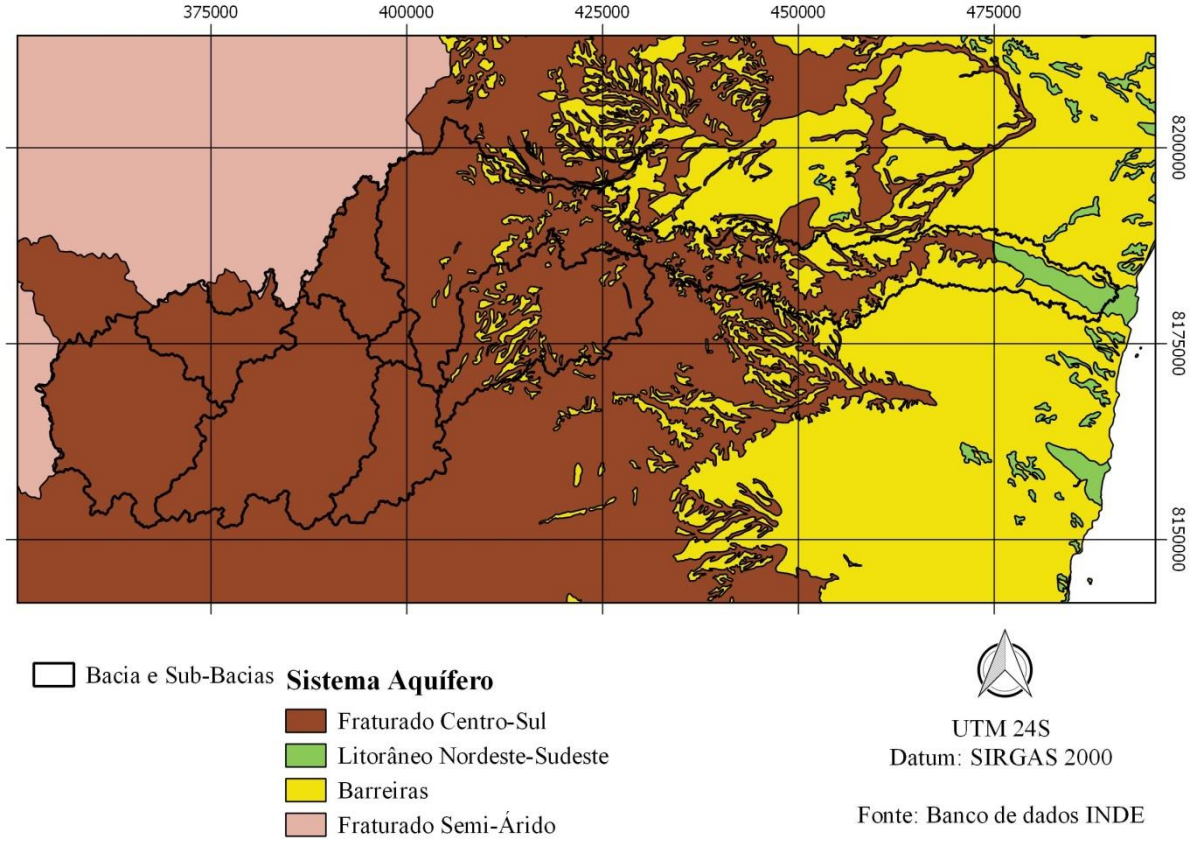


Figura 1.3 - Sistemas de Aquíferos Aflorantes[4] - na área da bacia do Buranhém

A pluviometria também varia na região, onde são observadas maiores totais anuais no litoral (Figura 5), devido à influência de praticamente todos os sistemas meteorológicos, tropicais e extratropicais, que atuam sobre a América do Sul (Chaves,1999). Além disso, um estudo realizado na região cacaueira do Sudeste da Bahia, identificou que algumas oscilações nas quantidades mensais e anuais de chuvas nos anos de ocorrência dos fenômenos ENOS, afetam a precipitação mensal de outubro a dezembro em 64% dos anos de El Niño, registrando precipitações inferiores a média e 55% dos anos de La Niña, principalmente em fevereiro (Almeida, 2002). Estes fenômenos apresentam um comportamento mais periódico no extremo sul da Bahia (Genz et al, 2003), demonstrando a importância de ampliar a rede de monitoramento meteorológico para facilitar a compreensão desta variável.

[4] http://www.metadados.inde.gov.br/geonetwork/srv/por/metadata.show?id=70914&currTab=simple

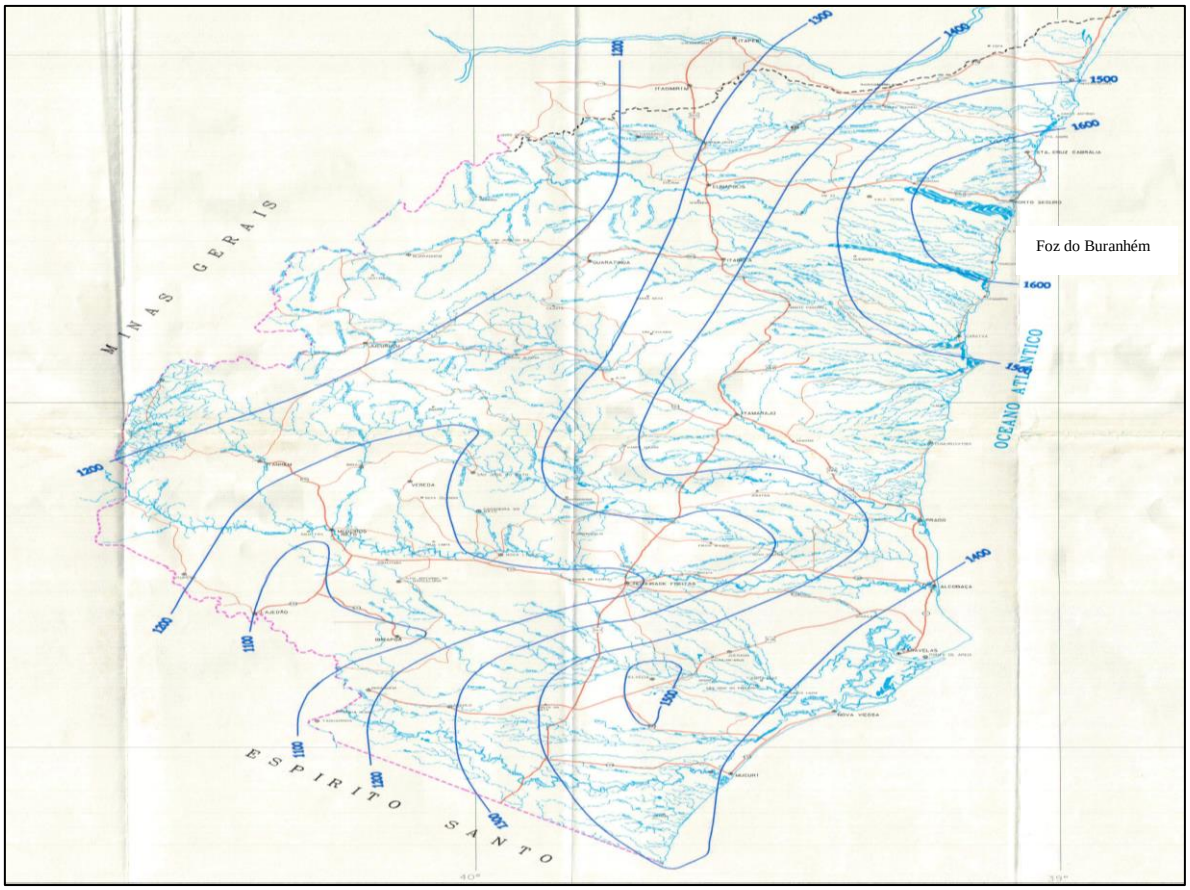


Figura 1.4 - Distribuição das chuvas no extremo sul da Bahia: Isoietas médias anuais (mm). Fonte: PDRH (1997)

OBJETIVOS

Diante dos aspectos discutidos, como objetivo, este trabalho buscou verificar a influência da alteração do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica do rio Buranhém, avaliar a evolução temporal do uso e ocupação do solo na bacia, conhecer suas características e comportamento hidrológico.

Objetivo Geral

Verificar se as mudanças no uso e ocupação do solo influenciaram a disponibilidade hídrica da BH do Buranhém

Objetivos específicos

1) Realizar o diagnóstico da bacia através da análise morfométrica e de dados secundários de cobertura do solo caracterizando as unidades de resposta hidrológica;

2) Conhecer o comportamento hidrológico do rio Buranhém e sua disponibilidade hídrica, considerando as séries temporais de dados hidrometeórológicos oficiais;

3) Correlacionar a variação anual das vazões de referência e da precipitação com o uso e ocupação do solo na bacia.

Capítulo 1

CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BURANHÉM E ANÁLISE TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BURANHÉM ENTRE 1985 e 2017

RESUMO

Neste trabalho objetivou-se caracterizar o processo de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Buranhém entre os anos de 1985 e 2017. Foram utilizados dados geoespaciais do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas) entre 1985 e 2017 e do monitoramento da cobertura vegetal cedidas pelo Fórum Florestal do Extremo Sul da Bahia para os anos de 1990, 2001, 2007 e 2013. As imagens e dados vetoriais foram processados no software QGIS 2.18. Foi identificado que a pastagem é o principal uso do solo desde 1985, principalmente em Guaratinga-BA, município com maior área dentro da bacia, onde a pecuária bovina é a principal atividade econômica. O maior avanço de desmatamento sob a Mata Atlântica ocorreu na primeira década do estudo, entre 1985 e 1990, e neste sentido verificou-se a importância da diferenciação dos estágios de regeneração florestal, visto que a interpretação do conceito de Floresta pode variar de acordo com os objetivos da análise. Também se verificou que a produção agroflorestal favorece a preservação e regeneração dos fragmentos florestais. Atualmente, aproximadamente, 23,8% da área de estudo é ocupada por Vegetação Florestal, 5,3 % por Campos Rupestres ou outras áreas naturais de matriz aberta, 3,5% Silvicultura de eucalipto, enquanto o restante é basicamente ocupado por pastagens, agricultura ou outros usos antrópicos com menor cobertura vegetal, que representam cerca de 64,1% da área da bacia. Apenas cerca de 2% da vegetação florestal encontra-se em estágio avançado de conservação, sendo a maioria dos fragmentos localizados dentro ou no entorno de Unidades de Conservação.

Palavras-chave: Geoprocessamento, MapBiomas, MDEHC, Desmatamento.

ABSTRACT

This paper aimed to characterize the process of land use and occupation of Buranhém river basin between 1985 and 2017. We used geospatial data Annual Mapping Project Coverage and Land Use in Brazil (MapBiomas) between 1985 and 2017 and monitoring the vegetation cover provided by the Southern Bahia Forest Far Forum for the years 1990, 2001, 2007 and 2013. The images and vector data were processed in QGIS 2.18. It has been identified that pasture has been the main coverage since 1985, especially in the municipality of Guaratinga, where cattle raising is the main economic activity, with the greatest progress under the Atlantic Forest in the first decade. It was also verified that agroforestry production favors the preservation and regeneration of forest fragments. Approximately 23.8% of the study area is occupied by Forest Vegetation, 5.3% by Rupestrian Fields or other open natural areas, 3.5% by Eucalyptus Forestry, while the remainder is mainly pasture, other anthropogenic uses with less plant cover, which represent about 64.1% of the area. Only about 2% of the forest vegetation is at an advanced stage of conservation, most of the fragments are located in or around Conservation Units.

Key words: Geoprocessing, MapBiomas, MDEHC, Deforestation.

INTRODUÇÃO

Devido à complexidade dos sistemas hídricos, a gestão integrada é necessária para promover a sustentabilidade e melhorar o resultado econômico e social através do gerenciamento coordenado da água, terra e recursos relacionados (Tucci e Mendes, 2006). Nesse sentido, o princípio da racionalização do uso, ou do usuário/poluidor-pagador da água do solo, do subsolo e do ar , previsto na Lei 6.938/81, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, bem como a gestão articulada dos recursos hídricos e do uso do solo prevista na Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei 9.433/97, e a importância das Áreas de Preservação Permanente, estabelecidas pela Lei 4.771/65, com alterações introduzidas pela Lei n˚12.651, também conhecida como Novo Código Florestal, deixam explícito a importância da cobertura vegetal e a necessidade do planejamento do uso e ocupação do solo para a conservação dos recursos hídricos.

Considera-se que a caracterização dos aspéctos físicos e ambientais é o primeiro passo para o diagnóstico e planejamento de uma bacia ou região hidrográfica. Esta caracterização inicia-se com o estudo do relevo que é facilitado pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) e permite delimitar os divisores de águas e obter, entre outros parâmetros, os índices de bacia. Por ser determinada pelo relevo, a rede de drenagem pode ser calculada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) através de técnicas de geoprocessamento, porém a hidrografia pode assumir formas mais complexas, visto que outros fatores como o carreamento e acumulação de sedimentos no leito dos rios podem promover formação de meandros. Em geral, rios possuem um trecho superior, onde a declividade não é muito grande, seguido e por um trecho médio de grande declividade e no seu trecho inferior a declividade é pequena onde o rio tende a meandrar devido à menor velocidade do escoamento (Tucci e Mendes, 2006).

O conhecimento da declividade da bacia hidrográfica auxilia no cumprimento da legislação, e no manejo e a gestão dos recursos hídricos, principalmente no que diz respeito ao planejamento adequado do uso do solo e prevenção à perda de solo e assoreamento dos cursos de água.

Dentre os parâmetros, temos o Índice de Circularidade (Ic), que tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular (Christofoletti, 1980), quanto mais circular a forma da bacia, mais sujeita a enchentes, indicada também pelo Coeficiente de Compacidade (Kc), enquanto um Fator de Forma (Kf) baixo indica que a mesma tende a ser estreita e longa, e portanto menos sujeita a enchentes que outra, de mesmo tamanho com fator de forma maior (Villela e Mattos, 1975). Outro parâmetro importante é a Densidade de

Drenagem, calculada pela razão entre o comprimento total de cursos d'água e a área da bacia, que avalia a sua capacidade de drenagem, quanto maior a densidade de drenagem maior a tendência de escoamento superficial e ocorrência de cheias, uma vez que se favorece o transporte da água em detrimento da infiltração (Christofoletti, 1980).

A maioria dos processos do ciclo hidrológicos que ocorrem na superfície são resultado da interação entre as características físicas, ambientais e antrópicas. A vazão, por exemplo, é influenciada pelos diferentes usos da água e do solo e a integração desses efeitos com características como declividade, rugosidade e forma da seção de escoamento, sendo um comportamento que varia de bacia para bacia (Tucci e Mendes, 2006). Desta forma, os índices de ajudam a explicar o comportamento hidrológico da bacia através de relações e comparações com os dados hidrológicos conhecidos (Villela e Mattos, 1975) e corroboram para a compreensão holística do sistema, sendo parâmetros para comparar o resultado destes efeitos em diferentes bacias.

A nível da bacia, tratando-se dos impactos antrópicos nos recursos hídricos, o fator mais relevante é a modificação da superfície onde ocorrem os fenômenos físicos e biológicos que mantém o equilibrio do sistema, isto é, o uso e ocupação deste território, que modifica as características naturais e associado à práticas inadequadas pode causar degradação ambiental e efeitos na qualidade e quantidade de água dos rios e córregos.

O mapeamento do uso e ocupação do solo é um produto básico para estudos ambientais espaciais, auxiliando na gestão e preservação dos recursos naturais. Nesse sentido, uma iniciativa no âmbito nacional é o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil - MapBiomas, que envolve vários especialistas em biomas brasileiros, usos da terra, sensoriamento remoto, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e ciência da computação. No geral, foram poucas iniciativas anteriores sobre o mapeamento do uso e ocupação do solo no domínio da Mata Atlântica com detalhes espaciais e temáticos, no entanto, a melhor referência é o "Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica" produzido pela "Fundação SOS Mata Atlântica" e "Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE" (MapBiomas, 2018). O atlas é uma iniciativa mais consolidada, e apresenta um conceito de floresta restrito à vegetação bem conservada, sendo mais utilizado para identificação de desmatamentos e análise da conservação da biodiversidade, enquanto o MapBiomas apresenta um conceito de floresta mais abrangente, indicado para análises de fragmentação, restauração e proteção da água (Rosa, 2016), entretanto, o Atlas apresenta

apenas os dados dos remanescentes florestais entre 2005 e 2017[5], não diferenciando os usos e ocupações do solo, desta forma o MapBiomas pode ser uma solução para estudos temáticos e com maior resolução temporal.

Ainda, devido à preocupação com o desmatamento e o avanço da monocultura do eucalipto, foi criado o Fórum Florestal do Sul e Extremo Sul da Bahia, que buscou gerar informações detalhadas sobre a dinâmica temporal da cobertura florestal na região e favorecer iniciativas de restauração e conservação da biodiversidade. Assim surgiu o Projeto "Monitoramento independente da cobertura florestal das bacias setentrionais do extremo sul da Bahia", no qual foram identificadas e mapeadas as mudanças do uso e cobertura da terra no período entre 1990 e 2007 (Ribeiro et al., 2012).

Obter o extrato do uso e cobertura do solo e conhecer como este processo ocorreu em áreas específicas e de relevada importância, como a bacia hidrográfica do rio Buranhém, complementando a análise fisiográfica e estabelecendo parâmetros que permitam a sua caracterização é uma etapa fundamental para o diagnóstico da área e compreensão dos impactos gerados nos recursos hídricos.

Diante disto, objetivou-se neste capítulo, delimitar a bacia hidrográfica e calcular os índices de forma, identificando as suas características de acordo com a topografia; verificar os principais mapeamentos realizados e sua aplicação na bacia; analisar como se deu a evolução temporal do uso e ocupação do solo na bacia entre os anos de 1985 e 2017; identificar as principais classes de cobertura do solo e os seus possíveis impactos; e propor uma divisão da bacia conforme as caraterísticas analisadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo foi delimitada através do Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução horizontal de 30 m e vertical de 1 m da base de dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil - projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)[6], no qual a folha que abrange a área de interesse é a 16S405. O MDE foi processado no Sistema de Informações Geográficas (SIG) software QGIS 2.18 com interface para o GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), que contém ferramentas para análise do MDE: correção de células vazias e depressões espúrias e geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Este modelo numérico permite o escoamento superficial contínuo e a partir dele é modelada a drenagem numérica, a direção de fluxo, fluxo acumulado e a delimitação das

[5] http://mapas.sosma.org.br/dados/
[6] http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/

bacias através do comando r.watershed, tendo como critério de entrada a quantidade minima de células para definir uma bacia, neste caso 150.000 pixels ou 135 km², sendo esta a área minima das sub bacias consideradas. Para gerar um arquivo vetorial com os limites dos divisores de água foi utilizado o comando r.water.outlet, no qual a partir dos cursos d'água identificados no passo anterior foi definido, como parâmetro de entrada, o exutório da área de interesse, sendo ele o ponto mais próximo à foz do rio Buranhém que intercepta a drenagem numérica. Este polígono foi utilizado para recortar o MDEHC e gerar, através do SIG, os mapas com a hipsometria e declividade da bacia.

Para gerar a rede de drenagem detalhada o comando r.watershed foi aplicado ao MDEHC recortado, tendo como parâmetro de entrada um limiar de 100 pixels.

Visando a comparação futura com dados hidrológicos conhecidos, as demais informações para o cálculo dos parâmetros físicos, foram extraidas considerando a área de drenagem da estação fluviométrica "Fazenda Limoeiro", nas coordenadas 16° 25'30'' S e 39° 21'12'' O. Desta forma, usando as ferramentas do SIG, foram calculadas as variáveis para caracterizar a morfometria da bacia: área, comprimento, perímetro, comprimento total dos canais (drenagem detalhada) e comprimento do curso d'água principal. Assim foram calculados, o Coeficiente de compacidade (Kc) (Villela e Mattos, 1975), índice de Circularidade (Ic) e Densidade de drenagem (Dd) (Christofoletti, 1980), Fator de forma (Kf) (Villela & Mattos, 1975) e Índice de rugosidade (Strahler, 1964).

O tempo de concentração (Tc) foi estimado pela fórmula de *Corps of Engineers*, escolhida com base no trabalho de Silveira (2005), que avaliou o desempenho de fórmulas conhecidas para estimar o Tc em bacias rurais e urbanas e verificou um menor erro médio para esta fórmula em bacias com áreas até 11.162 km². Assim, através dos parâmetros calculados na análise morfométrica calculous-se o Tc, tendo como variáveis explicativas a declividade média da bacia (S) e o comprimento do canal principal (L). Porém assume-se que as fórmulas foram desenvolvidas e calibradas para outras bacias e regiões, e portanto o verdadeiro valor do Tc permanece desconhecido.

Elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo e análise temporal de 1985 a 2017

Os dados utilizados são secundários e o período deste estudo foi determinado pela sua disponibilidade na plataforma online do Projeto MapBiomas, onde os arquivos para cada bioma são adquiridos na forma de dados matriciais e tem sua melhor aplicação em escala de até 1:100.000 (MAPBIOMAS, 2018). Este projeto utilizou uma chave de classificação empírica, que substitui o processo de coleta de amostras de treinamento de para a

classificação das imagens (Rosa, 2016). Isto foi realizado através de geoprocessamento, programação e computação em nuvem, permitindo a análise integrada das transformações na cobertura do solo ao longo das três últimas décadas a nível nacional em que cada unidade da imagem representa feições acima de 900 m² (pixels de resolução de 30 x 30 m). No arquivo matricial disponibilizado para cada bioma na plataforma do projeto[7], cada pixel representa uma das classes de uso e ocupação do solo, identificado pelo valor numérico (DN) associado a uma legenda, disponível no mesmo sitio eletrônico. Para avaliar estes dados tendo como referência o recorte da área de drenagem, foi utilizado o *software* QGIS 2.18, em que o arquivo foi reprojetado para o sistema de coordenadas planas, UTM, datum SIRGAS2000 e fuso 24, recortado para a área de interesse. As áreas foram calculadas através de uma ferramenta de processamento de dados matriciais que calcula as estatísticas do *raster* somando os pixels de cada classe e convertendo o valor em áreas. Os dados gerados foram exportados e organizados em planilhas eletrônica, para cada ano de interesse, ou seja, de 1985 a 2017. As classes mapeadas pelo projeto na área que compreende a bacia do rio Buranhém e suas características no bioma Mata Atlântica estão apresentadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Classes de cobertura identificadas pelo MapBiomas versão 3.0

Classe	**Descrição**
Formação Florestal	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea.
Formação Savânica	Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas.
Mangue	Formações florestais, densas, sempre-verdes, frequentemente inundadas pela maré e associadas ao ecossistema costeiro de Manguezal
Apicum	Apicuns ou Salgados são formações quase sempre desprovidas de vegetação arbórea, associadas a uma zona mais alta, hipersalina e menos inundada do manguezal, em geral na transição entre este e a terra firme.
Floresta Plantada	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. eucalipto, pinus, araucária)
Formação Campestre (Campo)	Savanas e Savanas-Estépicas Parque e Gramíneo-Lenhosa, Estepe e Pioneiras Arbustivas e Herbáceas.
Mosaico de agricultura e pastagem	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.
Pastagem	Áreas de pastagens, naturais ou plantadas, vinculadas a atividade agropecuária
Infraestrutura Urbana	Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções.
Outra Área não Vegetada	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes

Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS (2018b).

[7] http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection_download

Comparação e validação com os dados do Fórum Florestal do Sul da Bahia

Para dar confiabilidade ao estudo as áreas calculadas através dos dados da plataforma MapBiomas foram comparadas com um levantamento de cobertura florestal da região. O "Monitoramento Independente das Bacias Setentrionais do Extremo Sul da Bahia" foi realizado utilizando imagens de alta resolução de 2,5 metros, dos satélites Formosat e SPOT5 para o ano de 2007 (2,3 milhões de ha), e de baixa resolução dos satélites Landsat 5 para os anos de 1990 e 2001 associados a uma chave de identificação com amostras coletadas em campo (Ribeiro et al., 2012).

Quando comparado ao projeto MapBiomas, apesar de mais detalhado, esse estudo possui menor resolução temporal, com dados de 1990, 2001 e 2007. Desta forma, entende-se que os dados podem ser complementares, auxiliando a interpretação dos usos e ocupações do solo de maneira mais ampla.

As informações mapeadas encontram-se disponíveis em arquivos vetoriais associados às tabelas de atributos, onde os usos e ocupações do solo são categorizados (Tabela 1. 2).

Tabela 1.2 - Classes de uso e ocupação do solo mapeadas na bacia hidrográfica do rio Buranhém pelo projeto do Fórum Florestal

Classe Geral	Classe Detalhada	Definição
Corpo d'água	Corpo d'água	Rios, córregos, lagoas, etc.
Vegetação Natural Florestal	Vegetação Florestal Inicial	Vegetação secundária, em estágio inicial de sucessão, com árvores esparsas, presença de espécies exóticas e elevado grau de degradação.
	Vegetação Florestal Média	Vegetação secundária entre os estágios inicial e avançado.
	Vegetação Florestal Avançada	Vegetação florestal primária em estágio, ou seja, mais preservada, sendo composta por indivíduos arbóreos com altura média superior a 20 m, chegando o dossel a atingir 30 m em algumas regiões, sendo que as emergentes podem atingir 40 m.
	Cabruca	Áreas de plantio tradicional de cacau, no sistema agroflorestal, intercalada com vegetação natural, com diferentes adensamentos.
	Restinga arbórea	Vegetação arbórea sob os cordões arenosos acima descritos. Possui baixo, sendo a maior parte das espécies encontradas em outras formações vegetais.
Matriz Florestal	Seringal	Áreas de produção florestal onde predomina o plantio da seringueira. Em algumas regiões foram registradas outras culturas agrícolas produzidas à sombra dos seringais, como por exemplo, o café e o cacau.
Eucalipto	Eucalipto	Silvicultura de Eucalipto.
Vegetação Natural Aberta	Restinga arbustiva	Vegetação sob cordão arenoso, em estágio herbáceo/arbustivo.
	Manguezal	Ambiente de transição entre os ambientes terrestres e marinhos e é caracterizado por encontrar-se em áreas de água salobra, desembocadura de rios.
	Mussununga-Campinarana	Vegetação herbácea encontrada sobre solo arenoso e encharcado, recoberto por uma laje impermeável de coloração escura.
	Afloramento Rochoso	Em geral, são rochas graníticas, com pouca cobertura vegetal, sendo esta, quando presente, composta por bromélias, cactos e outras plantas adaptadas a regiões com pouco solo.
Matriz Aberta	Campo úmido degradado	Refere-se à vegetação herbáceo-arbustiva que ocorre em condições degradadas onde, em tempos anteriores, houve ocorrência natural de comunidade aluvial arbórea.
	Pasto limpo	Áreas predominantemente cobertas por pastagens isentas de estruturas herbáceo dedicadas a atividade pecuária.
	Pasto Sujo	Áreas predominantemente cobertas por pastagens, onde estruturas herbáceo-arbustivas são freqüentes, ocorrendo em algumas condições à presença de árvores isoladas ou mesmo pequenas manchas arbóreas com porte inferior a 5 m de altura.
	Agricultura annual	Produção agrícola de culturas de ciclo curto, como mandioca, abacaxi, melancia e cana-de-açúcar.
	Agricultura perene	Culturas de ciclo médio e longo.
	Urbano	Núcleos urbanos, cidades ou vilas rurais.
	Outras Classes	Outros tipos de cobertura que não se enquadram nas classes.

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2012).

Utilizando o SIG os dados foram recortados para a área de estudo e as áreas das feições foram calculadas, exportando os dados para planilhas.

Para permitir a comparação entre os dados dos dois projetos, foi criada uma legenda simplificada, ou chave de ligação entre as diferentes bases de dados, de acordo com a definição conceitual das classes de uso e ocupação do solo identificadas na bacia do rio Buranhém nos anos de 1990, 2001 e 2007 (Tabela 1.3).

Tabela 1.3 - Legenda Simplificada, ou chave de ligação entre as diferentes bases de dados, para comparação das bases de dados

Legenda	Classes mapeadas por Ribeiro et al. (2012)	Classes do MapBiomas (2018)
Vegetação Florestal	Floresta Inicial/Média Floresta Avançada Seringal Cabruca	Formação Florestal
Áreas Naturais Abertas	Restinga Manguezal Afloramento Rochoso Comunidade Aluvial	Formação Savânica Mangue Apicum
Pastagem + Agricultura	Pasto Agricultura Anual Agricultura Perene Campos Úmidos Degradados	Pastagem Mosaico Agricultura e Pastagem
Eucalipto	Eucalipto	Floresta Plantada
Outras Áreas não vegetadas	Água Instalações Rurais Sistema Viário Queimadas Mineração Urbano	Outras Áreas Não Vegetadas Rio, Lago e Oceano Infraestrutura Urbana

Considerando estas classes foi realizada uma análise qualitativa dos mapas gerados, sobrepondo classes generalizadas do MapBiomas por classes detalhadas que são representativas na área de estudo, produzindo um mapa final, que representa como o território da bacia é ocupado atualmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Morfométrica

A Figura 1.1 ilustra as áreas delimitadas a partir do MDEHC, sendo a área total da bacia 2.595 km² e a área de drenagem da estação fluviométrica 2.400km². Nesta etapa, a definição do exutório, foi fundamental, verificando que a morfologia do relevo próximo à foz do rio, caracterizada por planícies fluviais, planícies marinhas e manguezais, dificulta a definição de um único ponto para onde escoe toda água. Visto que isto se dá em um estuário, onde ocorre a mistura da água do rio com a água do mar, com uma hidrodinâmica complexa (Silva et al, 2018), o que resultou na exclusão desta área na delimitação da bacia.

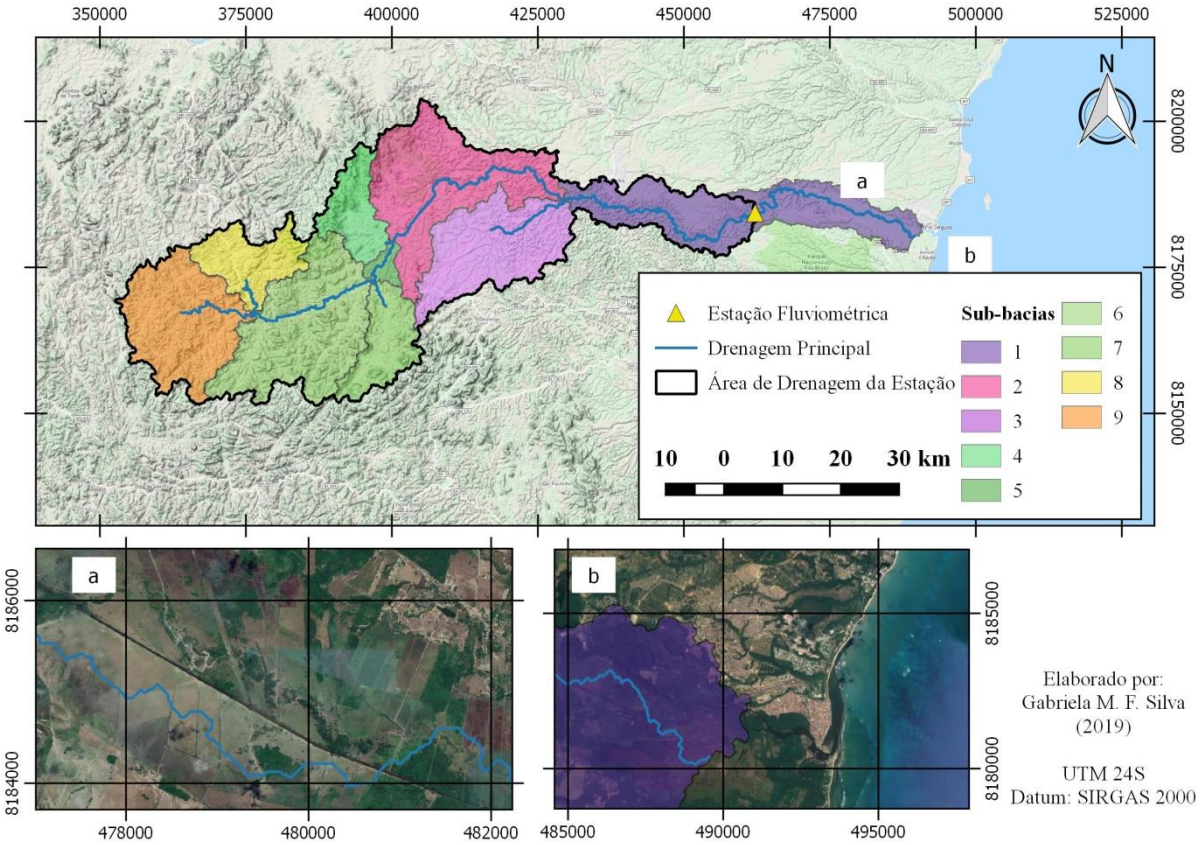


Figura 1.1 - Bacia do rio Buranhém e sub-bacias hidrográficas onde (a) é o trecho retificado e (b) é a foz do rio

Como observado nos detalhes do mapa, há uma retificação do curso d'agua principal pouco antes da foz, o que aumenta a velocidade de escomento da água e modifica sua sinuosidade natural. Portanto, ao considerar a área de drenagem da estação fluviométrica para cálculo dos parâmetros morfométricos exclui-se este trecho, que apresenta um canal muito diferente do gerado pelo MDEHC. De acordo com as definicões conhecidas, trata-se de uma bacia exorreica, e seus canais formam um padrão de drenagem dendrítico (Christofoletti, 1980), este padrão é predominante na bacia (Figura 1.2).

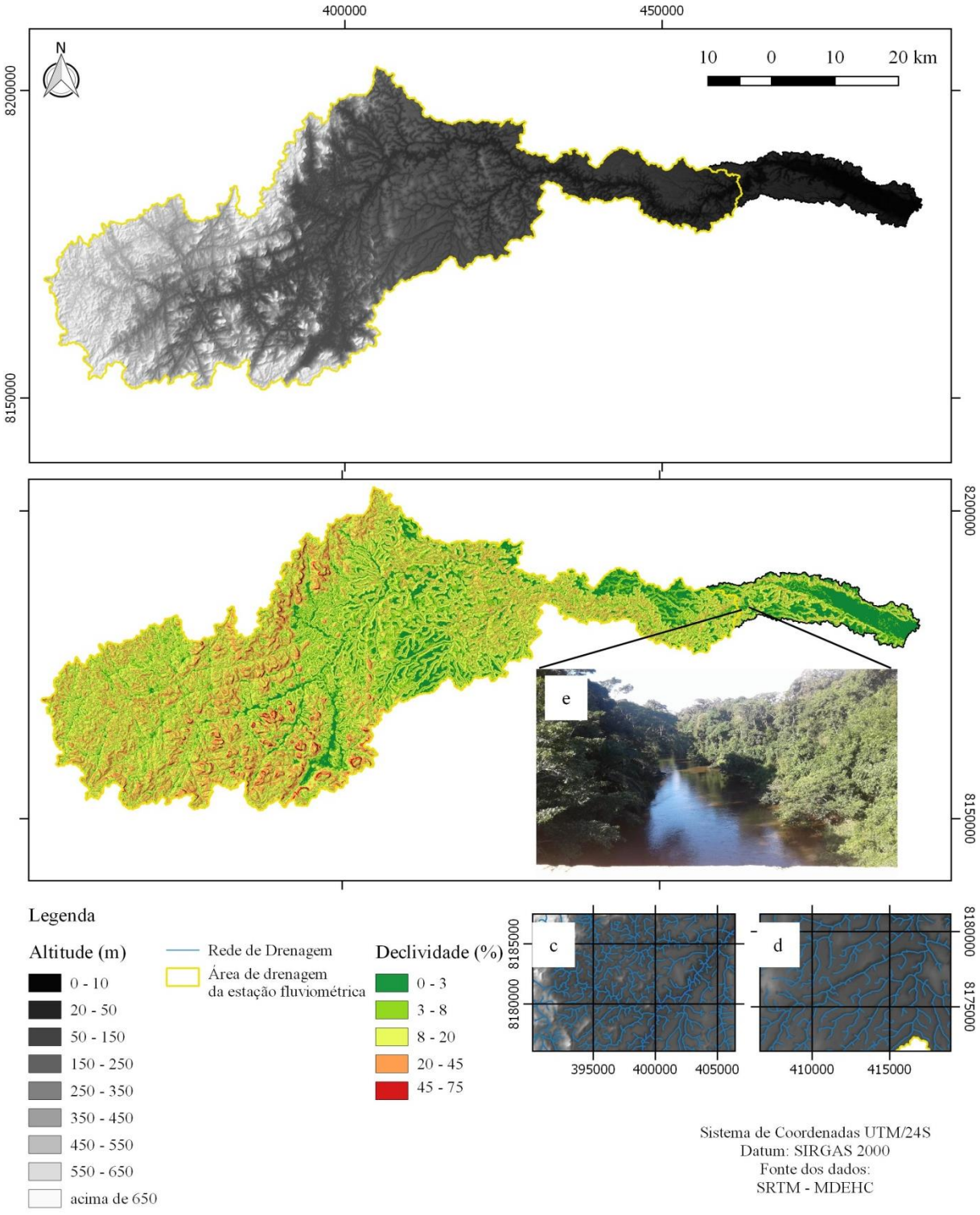


Figura 1.2 - Hipsometria e Declividade com detalhes para os padrões de drenagem desndrítico (c) e paralelo (d) e foto do local da estação fluviométrica (e)

As maiores declividades ocorrem na porção oeste do município de Guaratinga nas sub-bacias 7 e 4, onde o relevo é predominantemente montanhoso. Mais a oeste, nas sub-bacias 8 e 9 apesar de maiores altitudes, o relevo é ondulado, já entre Eunápolis e Porto

Seguro (sub-bacias 1, 2 e 3) o relevo é plano ou suavemente ondulado. As áreas planas ocorrem nos vales, na foz do rio e nos planaltos de Porto Seguro, Eunápolis e Guaratinga, onde a agricultura e a silvicultura são favorecidos, como será demonstrado na próxima etapa. Portanto, de acordo com estas características, divide-se a bacia em 3 regiões:

1. Alto Curso: Sub-bacias 7, 8 e 9;
2. Médio Curso: Sub-bacias 4, 5 e 6;
3. Baixo Curso: Sub-bacias 1, 2 e 3.

A bacia do rio Buranhém a montante da estação fluviométrica apresenta predominancia de relevo ondulado em quase 50% da área de estudo (Tabela 1.4).

Tabela 1.4 - Declividades na bacia hidrográfica do rio Buranhém a montante da estação fluviométrica da Fazenda Limoeiro segundo a classificação da EMBRAPA (1979)

Declividade	Relevo	% da área de estudo
0 - 3	Plano	11,9
3 a 8	Suave Ondulado	21,4
8 a 20	Ondulado	48,8
20 - 45	Forte Ondulado	17,2
45 - 75	Montanhoso	0,7

Quanto maior a declividade, melhor a drenagem da água, fazendo com que a umidade do solo seja pouco utilizada na regulação dos volumes de evapotranspiração da vegetação (Tucci e Mendes, 2006). Segundo Azevedo et al (2016) as formas de relevo mais representativas na bacia do rio Buranhém são Planaltos Soerguidos do Bloco montanhoso dos Granitos Santo Antônio do Jacinto e Santa Maria do Salto, que ocupam quase 50% da bacia na parte oeste, Plano a Colinoso Pré-Litorâneo do Complexo Jequitinhonha, na porção leste de Guaratinga e Relevo Plano a Colinoso Pré-Litorâneos – Complexo Itapetinga, que se extende de Eunápolis à Porto Seguro, acompanhando o curso principal de água.

A feição “rede de drenagem” gerada pelo MDEHC representa os caminhos preferenciais da água, visto que os cursos d’água não são estáticos, formando meandros de acordo com o comportamento hidrológico e as características da bacia. Visto que a existência de um rio perene ou efêmero depende, entre outros fatores, da capacidade da água subterrânea de percolar para o aqüífero, onde é armazenada e cria condições para regularizar os rios nos períodos de estiagem (Tucci, 2002) e que as condições de infiltração são

influenciadas por variáveis como a quantidade de umidade já existente e as características do solo e da sua cobertura, que interferem no ciclo hidrológico pela interceptação da água da chuva e evapotranspiração (Tucci e Clarke, 1997). O comprimento da rede de drenagem é um parâmetro que varia com o método utilizado.

O estudo dos indicadores morfométricos permite concluir que a área de estudo apresenta forma alongada, estreita e irregular (Tabela 1.5).

Tabela.1.5 - Parâmetros morfométricos da bacia do rio Buranhém e dos cursos de água no trecho a montante da estação fluviométrica

Parâmetro	Valor	Unidade
Área (A)	2.400,700	km²
Perímetro (P)	571,820	km
Comprimento Axial (L)	115,500	km
Amplitude Altimétrica (H)	766,000	m
Comprimento dos Canais (Lt)	4131,8	km
Comprimento do canal principal (Lc)	135,000	km
Tempo de Concentração (Tc)	78,065	h
Coeficiente de compacidade (Kc)	3,270	adimensional
Índice de Circularidade (Ic)	0,092	adimensional
Fator de forma (Kf)	0,180	adimensional
Densidade de drenagem (Dd)	1,940	km/km²
Índice de rugosidade (Ir)	1,490	adimensional

A densidade de drenagem da bacia é um importante indicador geomorfológico, variando de acordo com elementos da topografia que produzem os canais de drenagem, em geral, uma baixa densidade de drenagem é favorecida nas regiões de materiais altamente permeáveis, sob cobertura vegetal densa, e onde o relevo é baixo, enquanto a alta densidade de drenagem é favorecida em regiões de materiais subsuperficiais impermeáveis, vegetação esparsa, e relevo montanhoso (Strahler, 1964). Ainda, segundo Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a e ultrapassar 3,5 km/km² em bacias bem drenadas. Desta forma, a bacia do rio Buranhém com Dd igual a 1,94, possui média capacidade de drenagem.

O tempo de concentração também depende do método e das variáveis explicativas aplicadas na fórmula, o valor calculado foi aproximadamente 3,2 dias, sendo uma estimativa do tempo em que a água precipitada no ponto mais distante da bacia leva para chegar até a estação. O baixo Kf (0,18), associado ao Kc alto (3,27) e Ic baixo (0,092) indicam que a bacia tem forma alongada e menor predisposição para grandes cheias.

Estes índices não devem ser avaliados isoladamente, sendo recomendada a análise dos parâmetros hidrometeorológicos para confirmar o comportamento previsto pela análise morfométrica. Por exemplo, em áreas com declividade acentuada, associados à ocorrência de serras e picos pode haver formação de chuvas orográficas, que devido à sua curta duração e alta intensidade, associado a um menor tempo de concentração, apresentam alto potencial para causar enchentes logo a jusante (Lorenzon et al, 2015). Além disso, dado o tamanho da bacia entende-se que a precipitação não é uniformente distribuida, e cada sub-bacia pode apresentar características diferentes.

Comparação entre os Mapeamentos disponíveis

Para identificar quais as classes mais representativas na área da bacia, amostras dos mapas de mesmo ano (Figura 1.3) foram comparados, verificando a correspondência espacial das áreas de pastagem e floresta nativa. As escalas gráficas indicam o nível de detalhe que pode ser obtido em cada mapeamento, de acordo com as recomendações dos autores, o MapBiomas tem sua melhor aplicação em mapas com escalas escalas até 1:100.000, apesar de ser possível visualizá-los em 1:50.000, já os mapas de 1990 e 2001 gerados com os dados do Fórum Florestal podem ser aplicados em escalas de 1:50.000, enquanto o de 2007 pode ser representado em escala de até 1:20.000. Estas características, bem como as metodologias e objetivos de cada mapeamento justificam os resultados diferentes.

A partir da legenda simplificada, somando as áreas de cada mapeamento conforme a chave de ligação, os resultados dos dois estudos foram comparados e apresentados na Tabela 1.6.

Tabela.1.6 - Áreas mapeadas pelo MapBiomas (M) e Fórum Florestal (FF) e diferença (Dif.) entre os dois mapeamentos (km²) para 1990, 2001 e 2007

	1990			**2001**			**2007**		
	FF	M	Dif.	FF	M	Dif.	FF	M	Dif.
Vegetação Florestal	585,1	682,7	97,6	491,6	606,9	115,2	483,1	624,1	141,0
Áreas Naturais Abertas	141,6	12,2	-129,4	152,5	4,9	-147,6	137,6	3,3	-134,3
Pastagem +Agricultura	1837,0	1887,0	50,0	1902,1	1968,8	66,6	1919,5	1950,6	31,2
Eucalipto	11,0	0	-11,0	28,4	2,9	-25,4	28,4	2,2	-26,2
Urbano	4,5	2,2	-2,2	5,8	3,2	-2,6	6,4	3,7	-2,7
Áreas não vegetadas	14,9	7,3	-7,6	15,1	4,9	-10,1	20,6	7,5	-13,0

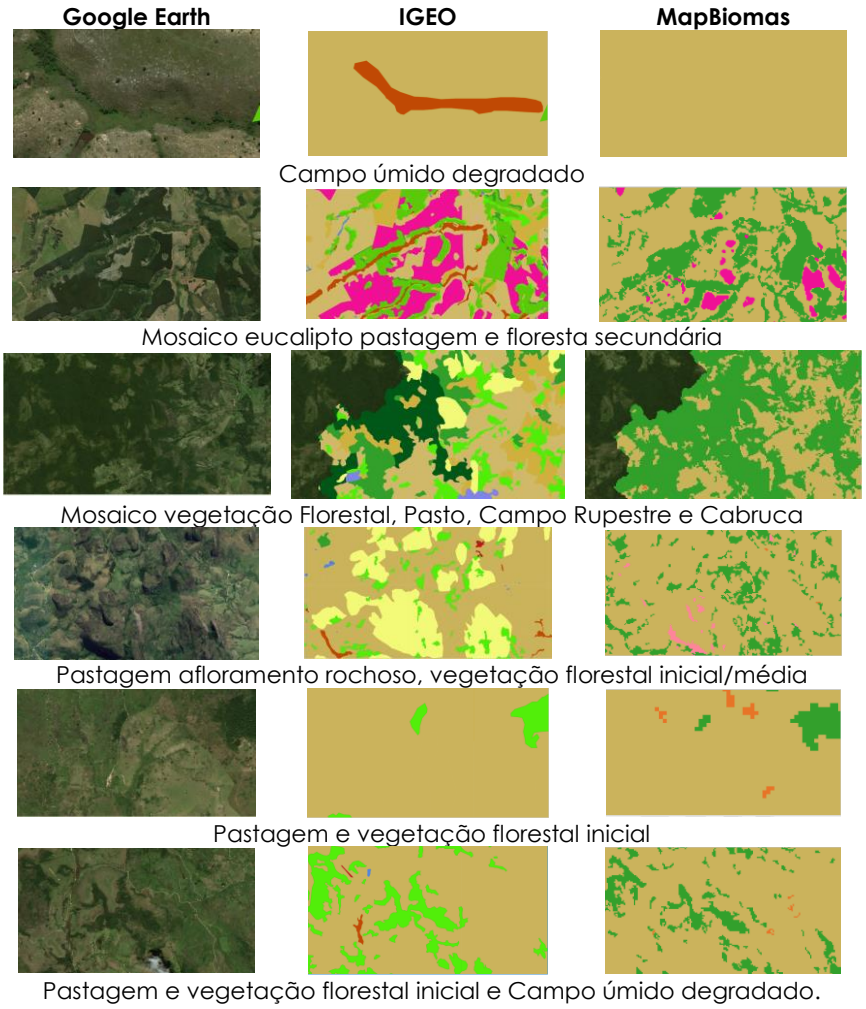


Figura 1.3 - Comparação de amostras do MapBiomas (3) e do Fórum Florestal (2) para o ano de 2007 com imagens do Google Earth (1)

As diferentes formações florestais e seus estágios de regeneração não foram diferenciados na classificação realizada pelo MapBiomas e, portanto, entende-se que foram computados como floresta, áreas em diferentes estágios sucessionais, bem como áreas de cultivos agroflorestais como a cultura do cacau no sistema cabruca. Isto foi observado na versão anterior do projeto, no qual foram contabilizadas florestas plantadas e pequenos fragmentos de floresta no entorno dos rios, além das áreas de plantio agroflorestal de cacau e silvicultura (ROSA, 2016).

Nota-se que o MapBiomas, superestimou a classe de mosaico pastagem e agricultura, computando nesta classe as áreas de “pasto sujo” e campo rupestre/afloramento rochoso, mapeadas no outro projeto, que somam uma área de aproximadamente 125 km² e explicam a

maior parte da diferença encontrada entre os dois trabalhos na classe “Áreas Naturais Abertas”.

As áreas com silvicultura de Eucalipto, infraestrutura urbana e outras áreas antropizadas também foram subestimadas. Essas diferenças ocorrem principalmente pela menor resolução espacial das imagens do satélite Landsat utilizadas no MapBiomas e por limitações nos parâmetros utilizados como chave de classificação empírica. O índice de vegetação (IVDN), por exemplo, pode influenciar no computo de áreas com alto vigor vegetativo que não sejam florestas (Rouse, 1973), enquanto o NDFI identifica com mais facilidade florestas com exploração madeireira ou queimadas (Souza, Roberts, Cochrane, 2005).

Apesar das diferenças encontradas, no que se refere à vegetação florestal, considera-se que há consistência nos dados, visto que em outro estudo, a análise de concordância espacial, realizada através de sobreposição dos mapas da Mata Atlântica do ano de 2014, revelou que a versão 2 do MapBiomas incluiu uma média de 79% das florestas mapeadas pelo Atlas da SOS/INPE (Rosa, 2016). Porém tratam-se de mapeamentos com escalas e objetivos diferentes.

Mapeamento Anual do uso e cobertura do solo entre 1985 e 2017

O Projeto MapBiomas versão 3.0 mapeou 10 classes de uso e ocupação do solo na área da bacia hidrográfica do rio Buranhém (Tabela 1.7). As classes, Mangue, Apicum e Água representam menos de 0,1% da área da bacia, e por isso não foram considerados no restante das análises.

Verificou-se a expansão da Pastagem em detrimento das Formações Florestais, a qual sofreu maiores transformações no período entre 1985 a 1990. O desmatamento precede o início deste monitoramento, visto que durante todo o período estudado a pastagem e o mosaico de agricultura ocuparam, em média, 73% da bacia. A Tabela 1.8 demonstra a variação dessas áreas com relação ao valor inicial.

Tabela.1.7 - Áreas mapeadas (km²) pelo Projeto MapBiomas entre os anos de 1985 e 2017 na bacia do rio Buranhém: Formação Florestal (FF), Formação Savânica (FS), Mangue (M), Floresta Plantada/Eucalipto (FP), Pastagem (P), Mosaico de Agricultura e Pastagem (AP), Infraestrutura Urbana (U), Outra Área não Vegetada (O), Apicum (Ap) Rios e Lagos (A)

Ano	FF	FS	M	FP	P	AP	U	O	Ap	A
1985	932,93	96,48	0,63	0,00	1047,14	507,37	1,77	4,43	0,00	0,80
1986	830,85	18,98	0,62	0,00	1177,69	552,82	1,90	7,71	0,00	0,98
1987	763,94	17,53	0,62	0,02	1239,06	558,88	2,29	8,58	0,00	0,64
1988	747,92	8,42	0,59	0,03	1318,10	507,16	1,95	6,54	0,01	0,82
1989	709,61	0,00	0,00	0,03	1376,09	478,80	2,22	16,53	0,00	0,90
1990	682,74	11,57	0,63	0,00	1393,77	493,24	2,24	6,49	0,01	0,86
1991	683,24	10,75	0,73	0,00	1385,07	501,43	2,24	7,40	0,00	0,69
1992	654,6	10,3	0,7	0,04	1406,16	513,67	1,94	3,5	0,66	0,69
1993	684,42	4,35	0,78	0,10	1409,41	485,69	1,93	4,17	0,00	0,71
1994	656,04	14,48	0,79	0,29	1404,07	511,13	1,61	2,38	0,00	0,75
1995	651,64	12,10	0,75	0,00	1424,05	497,07	1,78	3,38	0,00	0,79
1996	609,17	7,45	0,71	0,33	1493,23	472,36	2,64	4,96	0,00	0,69
1997	598,04	14,37	0,73	0,16	1497,89	473,09	2,62	3,27	0,00	1,37
1998	612,02	36,98	0,75	0,52	1491,37	441,67	2,24	4,65	0,05	1,31
1999	604,88	27,08	0,72	2,07	1507,11	441,92	2,48	4,18	0,04	1,08
2000	596,60	16,63	0,72	2,78	1533,63	433,68	2,99	3,52	0,00	1,00
2001	606,83	4,21	0,66	2,94	1551,23	417,55	3,19	3,45	0,00	1,50
2002	611,56	8,63	0,64	3,67	1549,15	410,19	2,89	2,59	0,00	2,24
2003	609,94	3,20	0,65	3,03	1534,32	432,48	2,62	4,22	0,00	1,10
2004	601,90	3,25	0,73	1,24	1544,63	430,53	3,22	4,81	0,00	1,23
2005	598,94	1,97	0,73	1,00	1552,28	424,88	3,32	7,45	0,00	0,98
2006	602,95	4,05	0,72	1,44	1514,34	455,49	3,27	7,72	0,01	1,58
2007	624,08	2,60	0,73	2,26	1496,59	454,07	3,70	6,06	0,00	1,46
2008	635,92	2,50	0,84	10,13	1489,44	442,46	2,99	6,19	0,00	1,09
2009	667,39	6,22	0,85	12,81	1460,77	430,87	3,81	8,09	0,00	0,73
2010	675,82	5,46	0,83	16,05	1474,52	412,24	3,14	2,66	0,03	0,81
2011	678,28	4,73	0,72	19,57	1510,37	369,85	4,54	2,61	0,03	0,85
2012	688,79	4,03	0,72	17,58	1515,12	358,62	3,78	2,14	0,00	0,78
2013	687,21	4,56	0,67	10,26	1518,31	361,69	4,05	3,68	0,00	1,13
2014	669,42	2,44	0,66	8,49	1553,93	347,59	4,86	2,39	0,00	1,79
2015	647,31	3,86	0,66	12,53	1558,25	357,02	4,97	5,82	0,03	1,10
2016	634,63	53,04	0,67	13,31	1518,46	353,36	4,39	11,90	0,07	1,73
2017	710,85	6,24	0,67	13,87	1527,92	322,06	4,53	3,62	0,02	1,79
Diferença 1985 - 2017	-222,1	-90,24	13,9	480,8	-185,3	2,8	-0,8	0,02	0,99	-222,1

Fonte dos dados: MAPBIOMAS (2019).

Tabela 1.8 - Porcentagem de variação anual das classes de uso e ocupação do solo na bacia do rio Buranhém entre 1985 e 2017: Formação Florestal (FF), Formação Savânica (FS), Floresta Plantada/Eucalipto (FP), Pastagem (P), Mosaico de Agricultura e Pastagem (AP), Infraestrutura Urbana (U), Outra Área não Vegetada (O)

Ano	FF	FS	FP	P	AP	U	O
1985-1986	-10,94	-80,33	0,00	12,47	8,96	7,31	74,23
1986-1987	-8,05	-7,67	0,00	5,21	1,10	20,44	11,29
1987-1988	-2,10	-51,94	40,74	6,38	-9,25	-14,96	-23,76
1988-1989	-5,12	-100,00	-21,05	4,40	-5,59	13,99	152,63
1989-1990	-3,79	0,00	-100,00	1,29	3,02	0,90	-60,74
1990-1991	0,07	-7,04	0,00	-0,62	1,66	0,04	14,11
1991-1992	-4,19	-4,20	856,07	1,52	2,44	-13,52	-52,73
1992-1993	4,56	-57,78	151,03	0,23	-5,45	-0,62	19,23
1993-1994	-4,15	232,96	190,00	-0,38	5,24	-16,32	-42,97
1994-1995	-0,67	-16,42	-100,00	1,42	-2,75	10,32	42,19
1995-1996	-6,52	-38,44	0,00	4,86	-4,97	48,61	46,54
1996-1997	-1,83	92,92	-52,01	0,31	0,15	-0,95	-34,05
1997-1998	2,34	157,31	223,56	-0,44	-6,64	-14,34	42,27
1998-1999	-1,17	-26,77	299,84	1,06	0,06	10,48	-10,22
1999-2000	-1,37	-38,57	34,44	1,76	-1,86	20,65	-15,83
2000-2001	1,71	-74,70	5,81	1,15	-3,72	6,49	-1,81
2001-2002	0,78	105,01	24,86	-0,13	-1,76	-9,17	-25,04
2002-2003	-0,26	-62,91	-17,50	-0,96	5,43	-9,54	63,17
2003-2004	-1,32	1,67	-58,93	0,67	-0,45	22,92	13,93
2004-2005	-0,49	-39,56	-19,64	0,49	-1,31	3,33	54,94
2005-2006	0,67	105,79	44,02	-2,44	7,21	-1,76	3,56
2006-2007	3,50	-35,81	56,60	-1,17	-0,31	13,27	-21,44
2007-2008	1,90	-3,83	349,39	-0,48	-2,56	-19,14	2,10
2008-2009	4,95	149,15	26,44	-1,92	-2,62	27,33	30,69
2009-2010	1,26	-12,18	25,25	0,94	-4,32	-17,60	-67,09
2010-2011	0,37	-13,50	21,95	2,43	-10,28	44,76	-2,07
2011-2012	1,55	-14,71	-10,15	0,31	-3,04	-16,89	-18,03
2012-2013	-0,23	13,16	-41,64	0,21	0,86	7,20	72,02
2013-2014	-2,59	-46,50	-17,29	2,35	-3,90	19,99	-35,11
2014-2015	-3,30	58,07	47,67	0,28	2,71	2,26	143,93
2015-2016	-1,96	1274,69	6,16	-2,55	-1,03	-11,69	104,48
2016-2017	12,01	-88,24	4,24	0,62	-8,86	3,20	-69,55
1985-2017	-24,38	1369,62	1969,85	39,26	-41,85	137,00	410,88

Fonte dos dados: MAPBIOMAS (2019).

Houve uma redução de 24,38% da área de Formações Florestais computada inicialmente, as quais sofreram um decréscimo mais significativo até o ano 2000, quando acumulou-se uma perda de 42,9% da área mapeada em 1985. Após 2005, apesar de alguns anos com saldos negativos, houve um incremento de 18,5% desta classe, que pode estar associado ao crescimento da vegetação florestal secundária, em estágio inicial ou médio. Este incremento pode estar relacionado à atuação do Ministério Público Estadual, através do Núcleo Mata Atlântica (Numa), na região do extremo sul, que desde 2006 incentiva o Reflorestamento através do Programa Mata Atlântica Bahia[8]. Além disso, houve uma diversificação das culturas e expansão da agroecologia (Dutra et al, 2012), que pode ter incentivado os cultivos agroflorestais.

A área inicialmente ocupada por Pastagens aumentou em 39,2%, apesar de alguns decréscimos, foi a classe com maior expansão. Por outro lado, os Mosaicos de Agricultura e Pastagem reduziram 41,8%, porém a definição desta classe no MapBiomas para a área da bacia não está clara, assim como as Formações Savânicas, e as Florestas Plantadas, que apresentaram grande variabilidade annual. Estas representam, em média menos de 1% da área da bacia não sendo classes representativas quando se usa esses dados.

As classes sem cobertura vegetal, Infraestrutura Urbana e Outras Áreas Não Vegetadas, aumentaram em mais 100% no período analisado, apesar de ocuparem áreas pequenas quando comparado ao tamanho da bacia. Comparando os mapas do primeiro e último ano (Figura 1.4) é possível verificar a expansão da infra estrutura urbana e da silvicultura.

[8] https://www.mpba.mp.br/projeto/mataatlantica

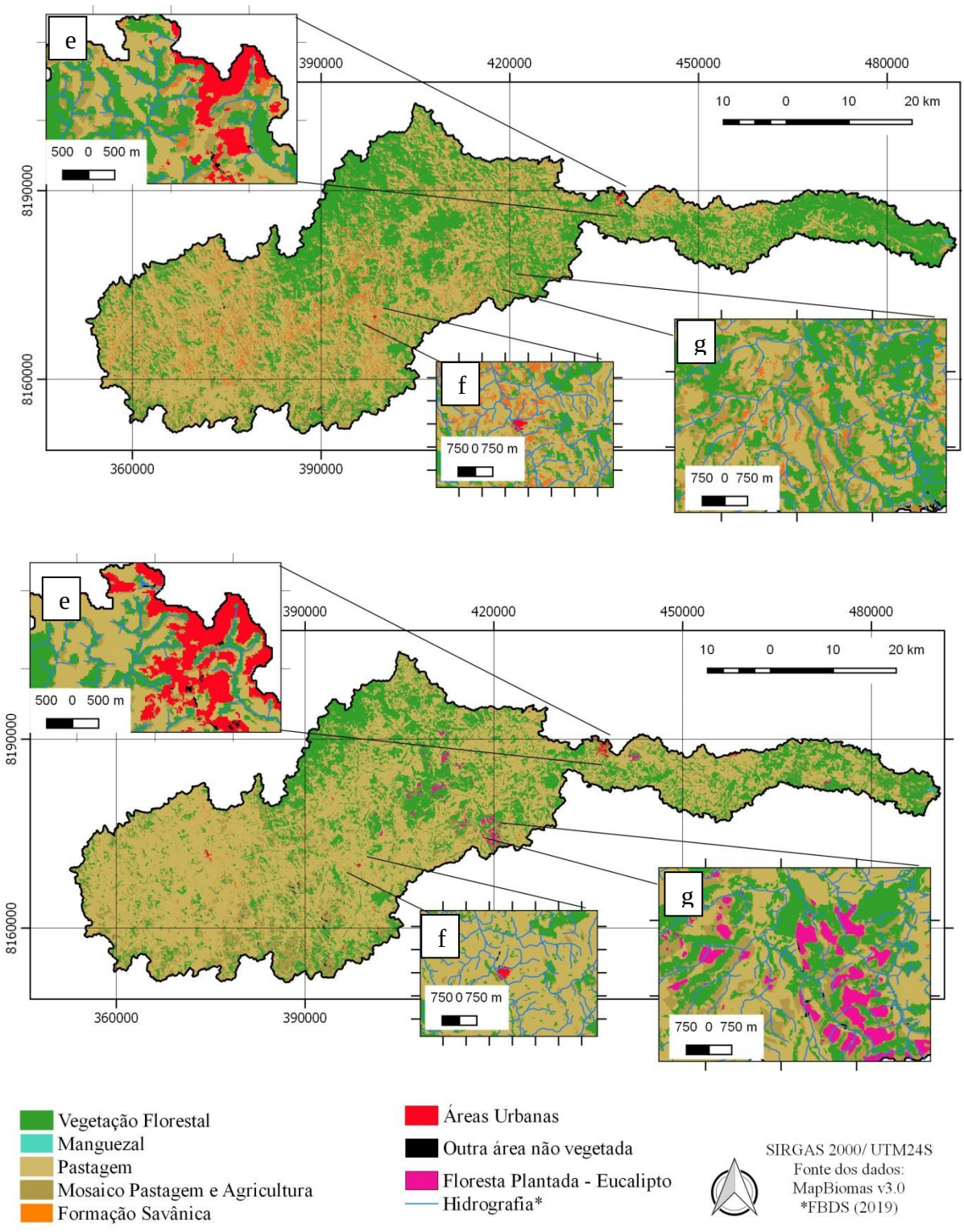


Figura 1.4 - Uso e ocupação do solo em 1985 e em 2017, onde (e) é área urbana de Eunápolis, (f) o distrito de Monte Alegre e (g) uma área rural em Guaratinga.

Evolução do uso e ocupação do solo e caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Buranhém

De acordo com os dados do Forum Florestal, o eucalipto esteve presente na bacia desde 1990 sendo uma classe menos expressiva, até 2007. A principal vantagem deste levantamento no que diz respeito a conservação e recuperação florestal é a diferenciação dos estágios de regeneração e dos cultivos agroflorestais. Segundo estes dados, de 1990 até 2007 houve uma perda de quase 25% das áreas ocupadas por vegetação natural florestal em estágio avançado, apesar do aumento em 2001, associado ao crescimento da vegetação em estágio inicial de regeneração (Tabela 1.9). Foi possível verificar que de fato a vegetação florestal aumentou após 2006/2007, porém este aumento representa o crescimento de vegetação florestal secundária, havendo para este mesmo ano uma perda de 39,3 km² de vegetação em estágio avançado, que representa 40% da vegetação primária mapeada em 2001.

Tabela 1.9 - Áreas das classes mapeadas na bacia para os anos de 1990, 2001, 2007 (km²).

	1990	2001	2007
Áreas Naturais Abertas			
Afloramento Rochoso/Campo Rupestre	126,5	121,8	124,3
Comunidade Aluvial/Ripária	12,9	28,5	11,3
Usos Antrópicos			
Pasto/aAgricultura Anual	1824,3	1885,3	1871,4
Agricultura Perene	12,3	15,8	17,6
Campo Úmido Degradado	0,4	1,04	30,5
Seringal			3,4
Cabruca	14,7	16,7	17,3
Silvicultura	11,01	28,4	28,4
Área Urbana	4,5	5,8	6,4
Vegetação Florestal			
Inicial/Média	518,2	409,02	423,1
Avançada	52,2	65,9	39,3

Fonte dos dados espaciais: Ribeiro et al (2012)

Corroborando com os dados do MapBiomas, os dados demonstram que em 2007 a pastagem e a agricultura ocupavam mais de 70% da bacia, enquanto menos de 20% estava coberta por vegetação florestal natural e apenas cerca de 5% por áreas naturais abertas.

Este estudo foi atualizado posteriormente e, apesar de não cobrir toda a extensão da bacia, avaliou as mudanças do uso e ocupação do solo que ocorreram na bacia do rio Buranhém, considerando as sobreposições dos mapeamentos de 2007 e 2013, onde foi demonstrada a conversão das pastagens em eucalipto (4,65%) e vegetação em estágio inicial (5,91%) (Ribeiro et al., 2015). Esta atualização para 2013, utilizou imagens de alta resolução

do monitoramento dos plantios de eucalipto da empresa de celulose, e portanto não mapeou a área da bacia onde não há cultivos registrados pela empresa. Observou-se que o extrato final de eucalipto aumentou em 60km² até 2013 e que houve recomposição da vegetação florestal, inclusive com formações secundárias em estágio avançado.

Um estudo utilizando os dados de Ribeiro et al (2012), constatou que apenas 18,44% da área da bacia do Buranhém é coberta por fragmentos florestais em diferentes estágios de regeneração sendo mais da metade deles considerados pequenos (entre 3 e 10 ha), chamando atenção para o desmatamento nas Áreas de Preservação Permanente (APPs), especialmente no entorno das nascentes na região do alto curso, que intensifica a fragmentação da paisagem e resulta no desequilíbrio dos ecossistemas (Azevedo et al., 2016). Portanto, a preservação destes fragmentos e a conexão dos mesmos através da criação de corredores ecológicos e da recuperação das APPs são extremamente importantes para a proteção da biodiversidade.

Por se tratarem de mapeamentos realizados a partir de sensores diferentes, sem a aplicação de filtros temporais ou análises de transição espacial, não se recomenda a comparação entre as áreas classificadas em cada ano. Um exemplo disto é a diferença observada entre as classes ora chamada Comunidade Aluvial, ora Campos Úmidos Degradados. A vegetação que ocorre ao longo dos cursos d'água, (com influência fluvial) é assim chamada quando ocupa planícies aluviais e refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas ou estão em planícies permanentemente alagadiças (IBGE, 1992). Esta terminologia ainda é bastante discutida devido à complexidade dos fenômenos que ocorrem nestes ecossistemas, que variam de acordo com os processos geobiohidrológicos de cada região (Kobiyama, 2003). E portanto, depende da interpretação do analista.

Todavia, o nível de detalhes encontrado, especialmente para os anos de 2007 e 2013, permite observar como o território da bacia foi ocupado, caracterizar os principais usos do solo e identificar fatores importantes sob o ponto de vista da preservação dos recursos hídricos (Figura 1.5).

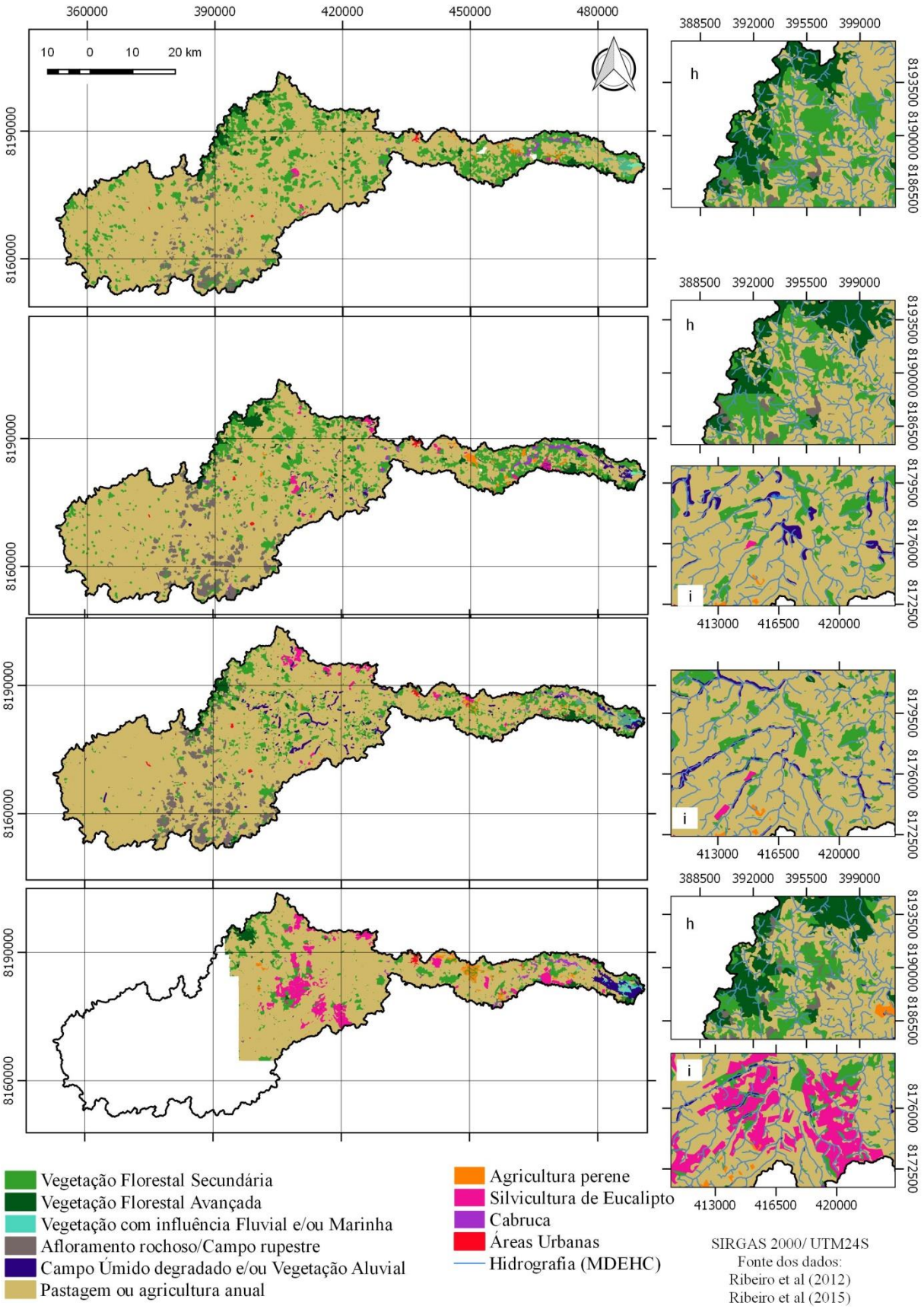


Figura 1.5 - Uso e ocupação do solo em 1990, 2001, 2007 e 2013, (h) é a área com os maiores fragmentos em estágio avançado e (i) uma área com campos úmidos degradados.

A região do baixo curso do Buranhém, em Porto Seguro, apresenta uma paisagem mais diversificada, onde a agricultura e os cultivos agroflorestais são permeados por fragmentos em diferentes estágios de sucessão ecológica. Neste trecho da bacia, o uso e ocupação do solo contribuem para a formação dos "Mosaicos Florestais Sustentáveis", que apresentam produtividade com menor impacto nos ecossistemas florestais e nos serviços ecossistêmicos e são fruto da integração do planejamento e de esforços na escala regional visando otimizar a aplicação de recursos de restauração florestal (Dutra et al, 2012).

Nestes mapas a classe campo úmido degradado chama atenção pela localização, próxima e no entorno dos cursos de água, apesar de menos expressiva em área, esta classe, que de acordo com a definição estabelecida nos relatórios técnicos, substituiu as comunidades aluviais ou ripárias, considera-se esta uma classe relevante para a análise ambiental da bacia, pois conforme relatado no PMMA de Guaratinga, a prática de drenagem de áreas alagadas para a conversão em pastagens ou outros usos é comum na região. Além disso, considerando a importância desse ecossistema para a proteção dos cursos de água, estas áreas podem indicar maior vulnerabilidade ambiental, visto que o ecossistema ripário é importante nos processos hidrológicos por influenciar a resistência ao fluxo de água e na mecânica do solo, armazenamento de sedimentos e preservando a estabilidade e morfologia do canal (Kobiyama, 2003).

No mapa de 2013 é possível verificar que a região onde encontram-se a maior parte dos campos úmidos degradados é ocupada atualmente pela silvicultura de eucalipto. E nesse sentido, ressalta-se que segundo o Código Florestal, as APPs na margem dos rios devem ter faixas de, no mínimo, 30 metros, para os cursos d'água de menos de 10 metros de e largura e 50 metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (Brasil, 2012). Não tendo uma definição formal que leve em consideração as características hidrológicas e geomorfológicas do que seria o leito regular considerado pela legislação brasileira, trata-se de uma questão que ainda deve ser estudada, não apenas no sentido do cumprimento à legislação, mas também de identificar o impacto da degradação dessas áreas, que ocorrem principalmente nas partes planicies das sub-bacias 2 e 3, onde há ocorrência do aquífero Barreiras.

A mancha urbana de Eunápolis cresceu em torno de alguns tributários, o que pode ser um indicativo de impactos negativos nesses corpos hídricos, principalmente com relação à qualidade da água, portanto, os baixos percentuais de desta classe, não significam, necessariamente, que ela é pouco representativa em termos de impactos ambientais.

Comparando os mapas da Figura 1.5 é possível identificar que houve regeneração florestal, com o fragmento maior recuperado na área do PARNA do Alto Cariri, criado em

2010, onde se encontram a maioria dos fragmentos florestais primários, que também são encontrados na área de entorno do PARNA do Pau Brasil, ressaltando a importância das Unidades de Conservação (UCs)[9], para a preservação da biodiversidade da Mata Atlântica.

A região do alto curso do Buranhém, próximo à nascente e às maiores altitudes, apresenta relevo que varia de ondulado a montanhoso, baixos índices pluviométricos e cobertura vegetal esparsa, características que, associadas à menor capacidade de armazenamento do aquífero cristalino resultam na menor contribuição para a produção de água na bacia. A região do médio curso possui a maior área de captação de água da chuva e elevados índices pluviométricos, apresenta relevo acentuado apenas ao norte, onde estão localizados a maior parte dos fragmentos florestais em estágio avançado, no restante da região o relevo plano favoreceu a implantação da silvicultura do eucalipto e nas partes mais onduladas a pastagem é permeada por fragmentos florestais em estágio inicial ou médio de regeneração. Apesar dos maiores índices pluviométricos, a região do baixo curso apresenta menor contribuição para o escoamento superficial, visto que sua forma mais alongada, relevo plano e menor densidade de drenagem resultam em menor concentração do defluvio.

CONSIDERAÇÕES

As características fisiográficas mostraram que a bacia apresenta escoamento superficial favorecido, especialmente no alto e médio curso do rio. O cálculo dos parâmetros morfométricos através do MDEHC com o uso do SIG permitirá comparar estas características com outras bacias e com parâmetros hidrológicos conhecidos, todavia,diante da heterogeneidade da bacia, recomenda-se a realização destes cálculos à nível das sub-bacias, bem como a revisão dos métodos empregados, especialmente a modelagem da rede hidrográfica, visto que esta não apresentam forma fixa.

Os resultados encontrados demonstram que os dois bancos de dados de uso e ocupação do solo são complementares e apresentam compatibilidade nas informações mapeadas, considerando que os objetivos e métodos utilizados são diferentes. O uso do MapBiomas neste caso auxiliou a interpretação das informações nos períodos em que não haviam dados em maior escala, porém o baixo nível de detalhamento exige do analista a interpretação crítica dos conceitos e definições adotados para as classes mapeadas, especialmente quando o tema for desmatamento.

O processo de desmatamento e ocupação do território precede o inicio dos monitoramentos de cobertura florestal e ocorreu principalmente pela expansão da

[9] http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados.html

agropecuária, que é a principal atividade desenvolvida, especialmente a pecuária bovina. Cerca de 64,1% da área é ocupada por pastagens, agricultura ou outros usos antrópicos com menor cobertura vegetal. De maneira geral este cenário não sofreu grandes transformações, apesar de uma tendência ao avanço da silvicultura na região da Costa do Descobrimento desde a década de 1990, que promoveu a transformação de áreas outrora desmatadas em monocultivo de eucalipto para produção de celulose, ocupando 3,5% da bacia, isto significa que as florestas plantadas ainda são pouco expressivas na área da bacia hidrográfica do rio Buranhém, quando comparada ao restante da região Sul e Extremo Sul da Bahia. A região do alto curso do Buranhém é a mais desmatada e vem sofrendo com este processo desde antes dos anos 80, é também a região menos chuvosa e com estação seca bem definida e, portanto pode ser mais vulnerável ao deficit hídrico.

Apenas cerca de 2% é ocupada por fragmentos primários de Floresta Ombrófila ou secundários em estágio avançado de regeneração florestal, o restante da vegetação florestal natural, 19%, é composta principalmente por fragmentos pequenos em estágio inicial e médio. Nesse sentido as Unidades de Conservação tem uma papel importante para a proteção da Mata Atlântica e manutenção dos serviços ecossistêmicos associados nestes fragmentos.

Capítulo 2

COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO E DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO RIO BURANHÉM - BA

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o comportamento hidrológico do rio Buranhém através da análise de séries temporais de precipitação e vazão, calculando parâmetros para compreender a variabilidade na resposta hidrológica da bacia. Os dados utilizados foram obtidos em bases de dados nacionais, processados através dos softwares Hidro, SisCAH e QGIS, e analisados em planilhas eletrônicas para verificar a consistência e estacionariedade das series, calcular a precipitação média anual na bacia, bem como as vazões mínimas, médias, máximas e de permanência. Para o período analisado, de 1972 a 2017, a precipitação média anual é de 1.057 mm, sendo setembro o mês com menor disponibilidade hídrica e a maior em dezembro. Verificou-se que o rio é pouco perenizado, com grande variabilidade ao longo do ano, visto que a vazão de permanência (Q_{95}) para a série toda é igual a 4,9 m³/s, enquanto a Q_{95} média anual é 8,8 m³/s, destacando que a vazão média de longo período, igual a 22,4 m³/s, é um parâmetro que deve ser usado com cautela. A ocorrência de grandes eventos de cheias e as variações sazonais e interanuais das chuvas demonstraram a necessidade de promover a gestão efetiva da oferta e demanda para o melhor aproveitamento do recurso hídrico.

Palavras-chave: hidrologia aplicada; vazões de referência; recursos hídricos.

ABSTRACT

This work aimed to characterize the hydrological behavior of the Buranhém river through the analysis of time series of precipitation and flow, calculating parameters to understand the variability in the hydrological response of the basin. The data used were obtained in national databases and processed through the software Hidro, SisCAH and QGIS, and analyzed in electronic spreadsheets to verify the consistency and stationarity of the series, calculate the average annual precipitation in the basin, as well as the minimum, average flows, maximum and permanence. For the period analyzed, from 1972 to 2017, the average annual precipitation is 1,057 mm, with September being the month with the lowest water availability and the highest in December. It was verified that the river is little perennial, with great variability throughout the year, since the permanence flow (Q_{95}) for the whole series is equal to 4.9 m³/s, while the annual average Q_{95} is 8.8 m³/s, noting that the average long-term flow, equal to 22.4 m³/s, is a parameter that should be used with caution. The occurrence of large flood events and the seasonal and interannual variations of rainfall have demonstrated the need to promote effective supply and demand management for the best use of water resources.

Keywords: applied hydrology; reference flows; water resources.

INTRODUÇÃO

A avaliação da disponibilidade é fundamental para definir se os recursos hídricos disponíveis em uma região ou bacia suportam as demandas sem prejudicar o meio ambiente aquático (Cruz e Tucci, 2008). Para isto, o monitoramento das variáveis hidroclimatológicas é uma ferramenta de gestão, prevista na PNRH, através do Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (Brasil, 1997), onde dados medidos em estações fluviométricas e meteorológicas são compilados e mantidos em bancos de dados na internet[10]. Por sua vez, as séries históricas de precipitação e vazão, permitem calcular índices importantes para a caracterização do comportamento hidrológico.

Entre as etapas do ciclo hidrológico, a vazão é composta pelo escoamento superficial - ocorre durante as precipitações, após os processos de infiltração, retenção superficial e evapotranspiração; escoamento subsuperficial - parcela da precipitação que infiltra, mas escoa a pouca profundidade no terreno na zona não saturada; e pelo escoamento de base - que representa a contribuição das reservas subterrâneas, sendo ela que mantém as vazões no período de estiagem (Collischonn e Dornelles, 2015).

É evidente a relação entre as variabilidades da precipitação e da vazão, porém identificar padrões climáticos determinantes para variação de vazão é um problema complexo devido às influências indiretas do clima na bacia, a variabilidade (espacial e temporal) dos sistemas meteorológicos e a não linearidade da resposta fluvial a precipitação (Capozzoli et al, 2017).

Enquanto as vazões mínimas representam a quantidade de água que permanece no leito do rio em épocas de estiagem ou de baixa precipitação (Benetti et al., 2003). A vazão média de longo período (Qmlp), por ser a maior vazão que pode ser regularizada em um curso de água, expressa a máxima disponibilidade hídrica da bacia (Tucci, 2000), que, segundo Pruski et al. (2006) também pode ser representada por outras variáveis e funções hidrológicas, como a vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) ou as vazões de permanência, ou seja, a vazão igualada ou superada em porcentagem do tempo da série (como Q_{50}, Q_{90}, Q_{95}).

Tendo em vista a importância do rio Buranhém, objetivou-se caracterizar o comportamento hidrológico e a disponibilidade hídrica do rio Buranhém através da análise dos dados hidrometeorológicos.

[10] http://dadosabertos.ana.gov.br/

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área considerada neste trabalho foi a área de drenagem a montante da estação fluviométrica, Fazenda Limoeiro, código 55170000, nas coordenadas 16° 25’30’’ S e 39° 21’12’’ O (Figura 2.1).

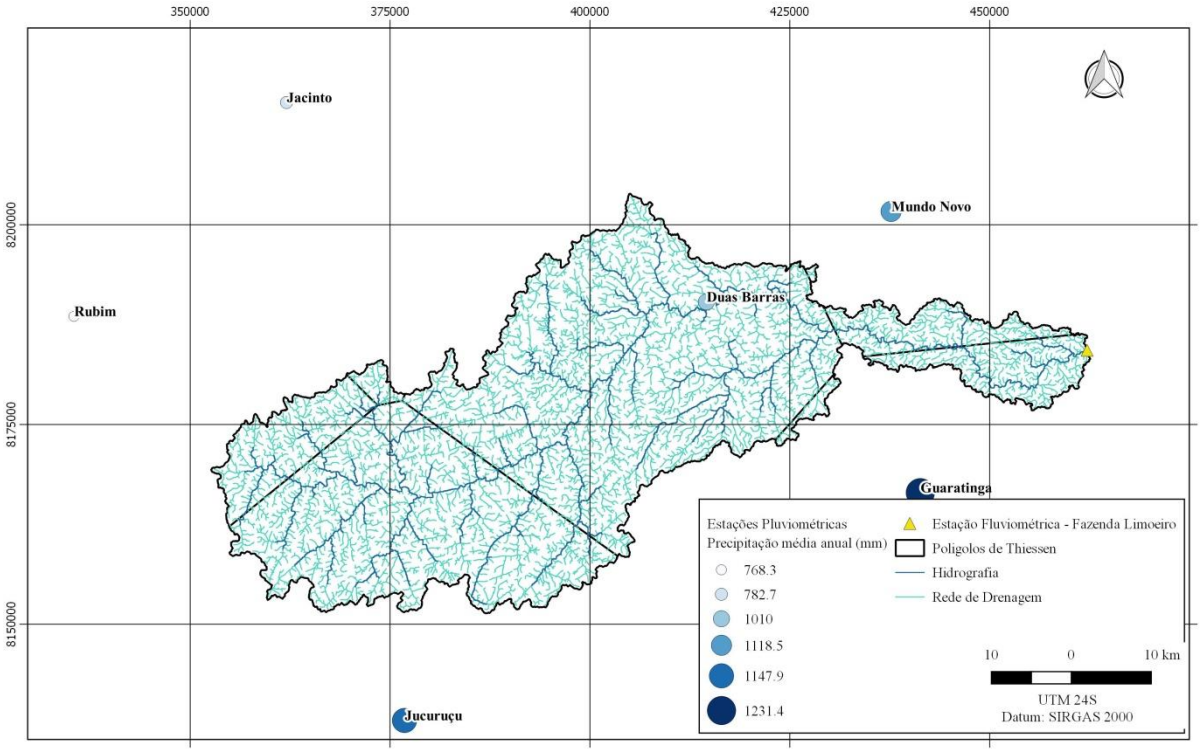


Figura 2.1 - Estações pluviométricas e fluviométrica e áreas de influência.

Seleção e Análise dos Dados Hidrometeorológicos

No Portal de Dados Abertos da ANA, Hidroweb[11], a estação fluviométrica, Fazenda Limoeiro, código 55170000, foi selecionada por estar localizada próximo à foz, em Porto Seguro, e apresentar maior série de dados, de 1971 a 2017, sendo este o período considerado no estudo. A série de vazões diárias obtida no Hidroweb (ANA, 2017) foi utilizada para alimentar o Sistema Computacional para Análises Hidrológicas - SisCAH 1.0, desenvolvido por Sousa et al. (2009), onde foram realizadas as análises: pré-processamento, vazões médias, mínimas, máximas em escala mensal e anual e de permanência. Para as demais análises, estes dados foram exportados para planilhas eletrônicas.

Na análise preliminar da série de vazões foram descartadas as séries anuais com 17% ou mais de falhas, os anos de 1971 e do período entre 1991 a 1996, resultando numa série de 48 anos.

[11] http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf

Para precipitação o pré-processamento consistiu em selecionar as estações pluviométricas que apresentaram dados e distantes até 30 km dos divisores de águas, de acordo com as informações do Hidroweb, e em seguida descartar as estações sem influência na área de drenagem da estação fluviométrica bacia, conforme os polígonos de Thiessen gerados no QGIS 2.18, ou com séries com menos de 15 anos de dados (Tabela 2.1).

Tabela 2.1- Postos pluviométricos selecionados.

Município (Código)	Anos da Série	Nome da estação	Altitude (m)
Eunápolis (01639000)	1962 - 2018	Mundo Novo	180
Guaratinga (01639004)	1969 - 1986	Duas Barras	170
Guaratinga (01639026)	1963 - 1994	Guaratinga	194
Jacinto (01640000)	1948 - 2018	Jacinto	160
Rubim (01640009)	1995 - 2018	Rubim	260
Itamaraju (01640012)	1992 - 2018	Jucuruçu	190

A estação Guaratinga também apresenta o código Hidroweb 01639008, a partir da qual é possível baixar os dados do período de 1963 a 1994. Conforme as informações da estação, a mesma é operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que forneceu os dados de precipitação mensal para o período de 1984 a 2017 através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)[12].

A precipitação total mensal e anual em cada posto pluviométrico foi calculada com auxílio do software Hidro 1.3, disponibilizado pela ANA.Utilizando planilhas eletrônicas de dados, foram calculadas as precipitações médias anuais e mensais de longo período.

Para preencher as falhas nas séries de precipitação anual de 1971 a 2017, foram testados os métodos da ponderação regional e regressão linear, utilizando o da regressão por apresentar melhores coeficientes de determinação (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Equações de regressão linear para preenchimento de falhas nas séries de precipitação anual

Estação preenchida (y)	Anos com falhas	Estação de referência (x)	Anos de referência	Equação	r^2
Rubim	1971 a 1994	Jacinto	1995 a 2002	y = 1,5072x - 387,64	0,86
Jucuruçu	1971 a 1992	Mundo Novo	1993 a 2002	y = 1,3298x - 300,78	0,75
Duas Barras	1987 a 2017	Guaratinga	1971 a 1979	y = 0,99x -192,88	0,91

Considerando-se o início do ano hidrológico, marcado pelo início do período chuvoso e consequentemente pela ascensão do hidrograma de vazões, a partir da análise da vazão

[12] http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep

média mensal identificou-se que este período se inicia em outubro e, portanto, as análises anuais foram realizadas para os períodos entre outubro de um ano e setembro do ano seguinte.

Para verificar a consistência das series de precipitação preenchidas, foi realizada a análise de duplas massas, descrita por Bertoni & Tucci (2007)

Para calcular a precipitação média na área de drenagem, foi utilizado o método de Thiessen, delimitando a área de influência de cada estação através de ferramentas do software QGIS 2.18, de modo a se estimar a contribuição das estações para a precipitação média que incide sobre a bacia num dado período de tempo. Este método atribui um fator de ponderação, ou um coeficiente, aos totais precipitados em cada pluviômetro proporcional à área de influência de cada um (Euclydes et al., 1999).

Para verificar se houveram mudanças significativas no comportamento hidrológico das variáves, foram realizados os testes estatísticos de Student e Fisher através dos quais foram testadas as hipóteses (H0) de igualdade das variâncias e a homogeneidade das médias, a 5% de significância ($p < 0,05$), para os períodos de 1971 a 1991 com 1992 a 2017, sendo que para a série de vazões os anos de 1992 a 1995 foram descartados. Assim foi realizada a análise de estacionariedade das vazões médias, mínimas e máximas anuais, bem como da precipitação anual em cada estação e média na bacia.

A fim de representar a variabilidade anual da precipitação total e da vazão média estes dados foram normalizados, de modo a ajustar a variação numa mesma escala. Assim, destes valores foram subtraídos a média e as diferenças divididas pelo desvio padrão amostral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento Hidrológico

Para avaliar a disponibilidade hídrica ao longo do tempo, é necessário assumir que o ano civil difere do ano hidrológico. Este, de acordo com as vazões médias mensais de longa duração começa em outubro, ou seja, em todos os anos o início da ascensão do hidrograma ocorre neste mês. Semelhantemente, a precipitação média mensal de longo período permite caracterizar a sazonalidade das chuvas, identificando ao período de estiagem e o período chuvoso (Figura 2.2). O período de estiagem ocorre, geralmente, entre maio e setembro, exceto na estação Guaratinga, onde as menores chuvas registradas são entre outubro e fevereiro, tendo uma melhor distribuição das chuvas durante o ano. A estação localizada em Rubim apresenta estações chuvosas e secas mais marcadas, bem como também apresenta uma maior variabilidade anual, visto que estes dado apresentam maior desvio padrão (Tabela 2.4).

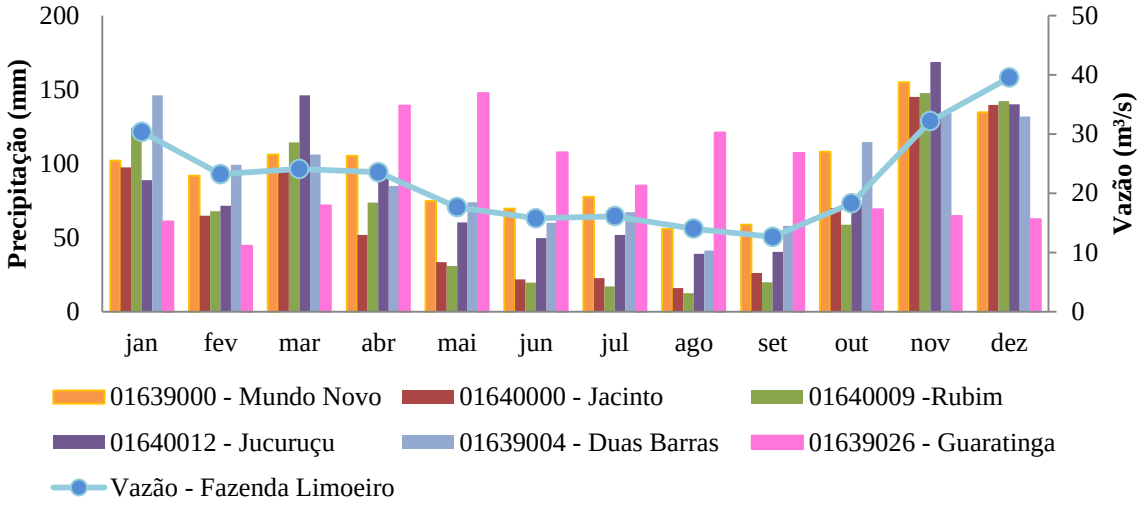


Figura 2.2 - Sazonalidade da Vazão média mensal (m3/s) e da Precipitação (mm) na bacia do rio Buranhem e imediações para o período de 1971 a 2017.

Esta diferença sazonal foi verificada em um estudo realizado para a região Nordeste do Brasil, o qual demonstrou que na região onde a bacia está inserida, o comportamento da precipitação é mais homogêneo próximo ao litoral, com chuvas bem distribuidas ao longo do ano devido aos sistemas frontais, enquanto nas maiores longitudes, aproximadamente a partir de 40°W, há maior influência da banda de atividade convectiva associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que resulta em um ciclo anual bem definido (Chaves, 1999).

A precipitação média sobre a bacia resulta em um período mais seco entre junho e setembro, com um volume mínimo de chuvas de 44,5 mm em agosto, resultando nas menores vazões que ocorrem em setembro, com média mensal de longa duração de 12,6 m^3/s, enquanto o mais úmido é novembro com uma média de 142,5 mm, seguido das maiores vazões, em média 39 m^3/s, em dezembro, demonstrando a inércia hídrica da bacia, este conceito, apresentado por Novaes (2005), como a precipitação mínima necessária para suprir o deficit de água no solo durante o período mais seco devido principalmente à evapotranspiração, e assim produzir as vazões que ocorrem no início do período de recessão do hidrograma. A vazão média no período seco, de maio a setembro, quando chove apenas 27,2% do total anual médio, é 15,23 m^3/s, enquanto no período mais chuvoso a vazão média é 27,3 m^3/s.

De acordo com as curvas de duplas massas (Figura 2.3) plotadas para cada estação, observa-se a consistência das séries históricas, com comportamento linear com a média das estações vizinhas e os coeficientes de determinação próximos de 1.

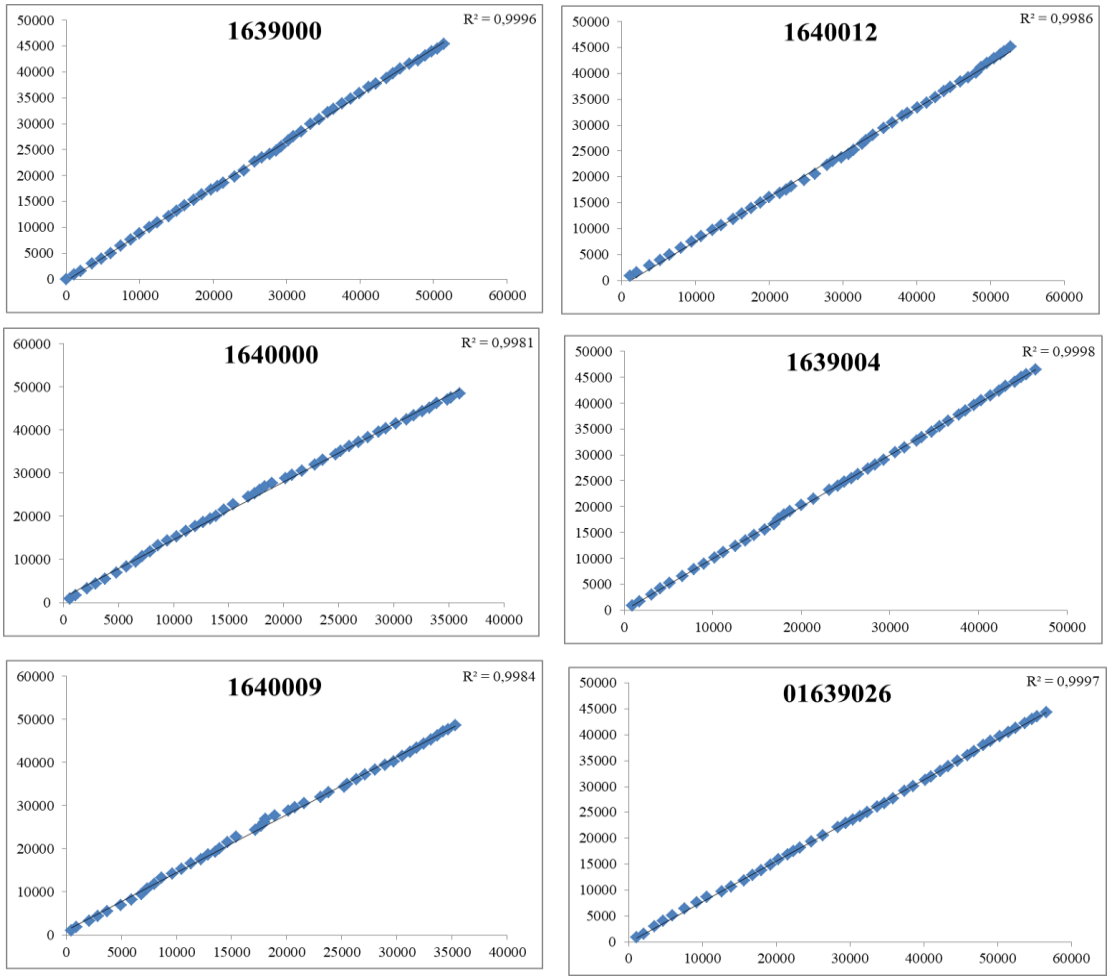


Figura 2.3 - Análise de duplas massas para os dados anuais preenchidos das estações pluviométricas

A área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Limoeiro foi utilizada para o cálculo da precipitação média, atráves do método de Thiessen, calculando a contribuição da precipitação em cada estação pluviométrica (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Precipitação anual média (P) (mm) nas estações com área de influência na área de drenagem da estação fluviométrica do rio Buranhém, e média (Pm) pelo método de Thiessen, para o período de 1971 a 2017

Nome (Código)	P anual (mm)	Desvio padrão	Área de Influência (km²)	Contribuição (mm)
Mundo Novo (01639000)	1.118,5	225,6	116,0	54,0
Jacinto (01640000)	782,7	216,0	19,4	6,3
Rubim (01640009)	768,3	311,5	152,9	48,9
Jucuruçu (01640012)	1.147,9	327,3	741,2	354,6
Duas Barras (1639004)	1.010,2	274,1	1.223,9	515,2
Guaratinga (01639026)	1.231,4	289,4	147,4	78,4
Pm	1.057,4	265,3	2.400,8	1.057,4

A hipótese de igualdade das médias (Tabela 2.4) foi rejeitada para as estações Mundo Novo, Jucuruçu e Guaratinga, e também para a precipitação média na bacia e para a vazão mínima.

Tabela 2.4 - Avaliação da estacionariedade das series de precipitação anual (mm) das estações com área de influência na bacia do rio Buranhém e média anual (Pm) e das vazões média anual (Qméd), máxima (Qmáx) e minima (Qmin) médias (m³/s) a 5% de significância para os períodos 1971 a 1991 (A) com 1992 a 2017 (B), onde s^2 é a variância da série, p é a probabilidade

Nome (Código)	s^2 (A)	s^2 (B)	Média A	Média B	Student (t)	Fisher (F)
Mundo Novo (01639000)*	50.119,60	38.400,20	1.204,90	1.032,00	0,0078	0,5374
Jacinto (01640000)	42.400,80	52.955,30	775,20	790,20	0,8170	0,6066
Rubim (01640009)	96.319,80	101.796,50	780,80	755,80	0,7890	0,8980
Jucuruçu (01640012)*	95.626,80	77.231,30	1.296,60	999,20	0,0013	0,6207
Duas Barras (01639004)	94.535,20	48.322,90	1.082,20	938,30	0,0747	0,1231
Guaratinga (01639026)*	104.488,10	48.982,30	1.323,80	1.138,90	0,0285	0,0825
Pm*	76275,25	49444,15	1150,97	964,10	0,0151	0,3166
Qméd	66,54	69,88	24,02	20,60	0,2000	0,9200
Qmáx	8486,65	9357,80	196,48	180,64	0,6000	0,8400
Qmin*	8,04	7,27	7,75	5,57	0,0200	0,8200

* Médias estatisticamente diferentes ($p<0,05$)

A não estacionariedade de alguns parâmetros anuais significa que as diferenças entre as médias para os dois períodos não ocorrem unicamente devido às flutuações aleatórias das observações. Isto pode ser um indicativo de que há tendência de redução da precipitação pluviométrica nestas estações, já que no período inicial foram encontrados maiores totais anuais, refletindo na redução das vazões mínimas.

Considerando a Pm, as maiores chuvas já registradas ocorreram entre 1991 e 1992, com um total anual de 1.758 mm, período sem dados de vazão. O ano com menor total de chuvas, 520 mm, foi 2015/2016, período no qual foi registrada a menor vazão mínima, 1,2 m^3/s, e uma vazão média anual de 5,0 m³/s, neste período foi anunciada uma crise hídrica na cidade de Eunápolis-BA.

Avaliar a varibilidade através da normalização da precipitação média e da vazão média anual ajuda a compreender as tendências das vazões diante da tendência climática e hidrológica, com relação aos efeitos de intervenções na bacia e uso da água para fins variados (Genz et al, 2003). Visto que a variabilidade climática é a principal causa da evolução inter-anual do escoamento, estas variáveis normalizadas e plotadas podem ilustrar a separação

sistemática entre os volumes escoados e precipitados, apontando para a influência de algum processo externo, como por exemplo drásticas mudanças na cobertura da terra (Morán-Tejeda et al, 2010). Esta afirmação pode explicar a diferença no comportamento destas duas variáveis entre 1977 e 1979 (Figura 2.4) quando a vazão passou a ser proporcionalmente maior que a precipitação.

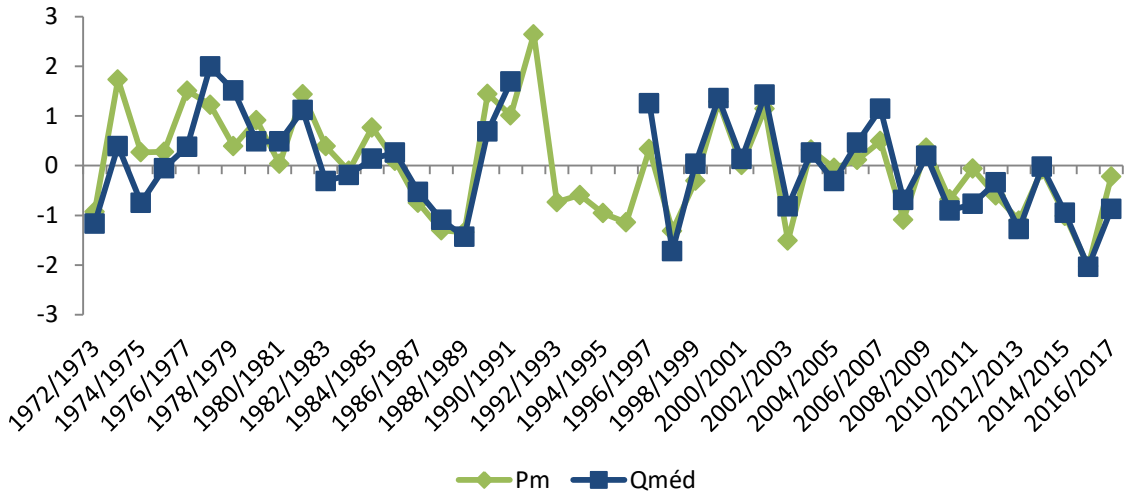


Figura 2.4 - Variabilidade anual (valores normalizados pela média e desvio padrão) da precipitação média e da vazão média na bacia do rio Buranhém

Fortalecendo esta hipótese, um estudo realizado para esta região hidrográfica, a partir dos dados de estações hidroclimatológicas entre as latitudes 16° e 19° Sul e longitudes 39° e 42,5° Oeste verificou o aumento global da temperatura média anual em 1,28°C entre 1946 e 2010, associando as diferentes tendências na descarga dos rios às mudanças na cobertura vegetal e uso da terra ocorrido antes dos anos 80 (Genz e Tanajura, 2013).

De maneira geral, os resultados demonstram uma grande variabilidade inter-anual da chuva e da vazão em torno das médias que sugere a influência de fenômenos climáticos, como observado por Chaves (1999) no sul da região nordeste, onde observou-se que o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), gerou secas no período em que geralmente ocorreria a estação chuvosa nos anos de 1986 e 1989, e uma estação chuvosa com índices acima da média entre novembro e janeiro de 91/92, seguido de uma seca severa entre 1993 a 1995. Os dados do Índice Oceânico de Niño, em inglês, *Oceanic Niño Index* (ONI)[13] que caracterizam a intensidade dos fenômenos ENSO e permitem verificar os anos em que ocorreram estes eventos (Huang et al., 2017) permitiram observar, quando comparados com o gráfico acima, que nos anos 1972/1973, 1974/1975, 1987/1988, 1988/1989 e 1997/1998 os eventos La Niña

[13] https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

fortes coincidiram com as menores vazões, enquanto apenas no ano de 2016/2017 foi a outra fase do fenômeno que coincidiu com os menores valores de precipitação e vazão. Da mesma forma, nos anos de 1981/1982, 1990/1991, 1991/1992 e 1996/1997 coincidiram a ocorrência de eventos de El Niño fortes com anos com maiores precipitações e vazões.

Avaliando as tendências das vazões através de dados das estações fluviométricas, entre as quais também considerou-se a Fazenda Limoeiro, no Buranhém, Genz et al (2003) identificaram um padrão de variação parecido, com uma tendência de redução e cliclos com períodos de aproximadamente 12 anos, relacionados ao fenômeno ENOS.

Este comportamento, associado ao fato de que o desmatamento mais significativo na região ocorreu entre as décadas de 1960 e 1970 devido o avanço da pecuária e expansão da atividade madeireira, principalmente próximo à fronteira com o estado de Minas Gerais (Addad, 1997), ponderando que a variabilidade do clima pode mascarar o papel do uso e ocupação do solo no escoamento (Morán-Tejeda et al, 2010)., evidencia a necessidade de detalhar as análises em escala mensal e compreender quais variáveis tem maiores efeitos no comportamento hidrológico, visto que para eventos de ENSO forte, com ONI acima de 2 (El Niño) ou abaixo de -1,7 (La Niña), podemos notar influências diretas na vazão (Figura 3).

Além disso, considerando que o desmatamento pode alterar os fluxos envolvidos no ciclo hidrológico devido ao aumento do albedo, maiores flutuações da temperatura e déficit de tensão de vapor das superfícies das áreas desmatadas, redução da evapotranspiração, e menor distribuição da umidade nas camadas profundas do solo (Tucci e Mendes, 2006), visto que ainda não há um consenso científico sobre os recortes espaciais e temporais realizados nos estudos hidroclimáticos, e diante da grande heterogeneidade dos sistemas hídricos, recomenda-se a investigação mais aprofundada sobre os condicionantes climáticos e ambientais que resultaram na não estacionariedade das series temporais utilizadas neste trabalho.

Disponibilidade Hídrica e Parâmetros de Referência

A curva de permanência ilustra o padrão de variação das vazões (Naguetini e Pinto, 2007). Segundo Pruski et al. (2006), as vazões mínimas e as obtidas da curva de permanência são valores característicos do comportamento de estiagem, enquanto a média das vazões médias anuais ou média de longa duração ou período (Qmlp) corresponde a síntese de todas as vazões ao longo do tempo e representa a vazão máxima que pode ser regularizada.

A síntese das vazões calculadas para a série histórica, Tabela 2.5, demonstra a amplitude entre as vazões mínimas e máximas. Em apenas 5% do tempo da série as vazões

variaram de 61 m^3/s a 336 m^3/s, desenhando uma curva de permanência verticalizada. Como observado no capítulo 1 e apresentado na Figura 2.1, os índices de forma não justificam a grande amplitude entre as vazões mínimas e máximas. Porém, bacias alongadas com drenagem ramificada podem produzir baixas vazões e picos de máximas (Gajbhiye et al, 2014). Portanto, por ser mediamente drenada, pode ocorrer um escoamento mais rápido gerando estes picos devido ao menor tempo de concentração e ao acumulo de água em alguns afluentes, e por este motivo recomenda-se que a análise morfométrica seja realizada ao nível das sub-bacias.

Tabela 2.5 - Vazões para o período de 1971 a 2017, exceto os anos de 1991 a 19960(m3/s)

	Série toda						**Ano a ano**	
	Qmlp	**Qmáxméd**	**Qmín méd**	**Q_{90}**	**Q_{95}**	**Q_{50}**	**Q_{50} méd**	**Q_{95} méd**
Vazões (m^3/s)	22,4	192,8	6,6	6,5	4,9	15,3	15,4	8,8
Desvio Padrão	8,5	94,5	2,9				6,2	3,8

A média aritmética de uma amostra, por levar em conta todos os seus elementos, apresenta a desvantagem de ter seu valor afetado pela eventual presença de pontos atípicos, assim, a mediana (Q_{50}), por ser medida de posição reduz o efeito da eventual presença de valores extremos discordantes na amostra (Naghetini e Pinto, 2007). Quanto mais horizontal for a curva de permanência, isto é, mais próxima do valor da Q_{50}, mais regularizado é o curso de água, podendo indicar se a contribuição dos aquíferos é relevante (Collischonn e Dornelles, 2015). A Q_{50} é 70% menor que a Qmlp, ou seja, em metade do tempo da série as vazões são inferiores à média, isto ocorre porque a vazão média é influênciada pelos valores extremos.

A razão Q_{90}/Q_{50} pode indicar a proporção do volume total escoado que é mantido pelo escoamento de base, ou seja, a regularização natural do fluxo através dos aquíferos, que depende principalmente da infiltração e percolação da água no solo (Collischonn e Dornelles, 2015; Nathan, 1990; Aksoy et al, 2009; Collishon e Fan, 2013). Portanto, através deste índice é possivel entender as características hidrológicas e hidrogeológicas da bacia, sendo a razão Q50/Q90 igual a 0,43, o que pode indicar uma baixa contribuição dos aquíferos. Além disso, a razão entre a Q_{90} e a vazão média representa o índice de variabilidade do curso d'água (IV), que indica o seu nível de perenização natural (Miranda et al, 2010), que para a série de dados, é igual a 0,29 e indica um médio risco de estiagens.

A avaliação da permanência de vazões ano a ano permite avaliar o comportamento hidrológico em função da ocorrência de anos secos e úmidos ao longo do tempo, gerando um valor de permanência de vazões para um ano médio, enquanto a consideração do critério da

série toda estima a probabilidade de ocorrência para um período de anos igual ao período analisado, resultando em menores vazões, e portanto com menor risco de deficit hídrico (Cruz e Tucci, 2008). Conforme a legislação, a vazão de referência para definição de critérios de outorga de direito de uso de água, para rios de domínio federal é a Q_{95} e cada usuário pode captar no máximo 20% da mesma até que o total de outorgas concedidas não ultrapasse 70% desse valor (ANA, 2011), lembrando que a vazão varia conforme a área de drenagem, e portanto também é importante que seja levado em consideração a vazão regionalizada.Tendo em vista o melhor aproveitamento dos recursos hídricos, diante da diferença entre os valores da Q_{95} calculados para a série toda e ano a ano (Tabela 2.6) nota-se a importância do período de referência considerado para o cálculo desta vazão, especialmente quando a mesma é utilizada como referência para outorgas. Dos 41 anos estudados, 10 apresentaram Q_{95} anual abaixo da Q_{95} para a série toda. Nesse sentido, recomenda-se a utilização de um critério de outorga com um risco negociado entre o valor da curva média (ano a ano) e o da série toda, visto que para a série toda, os valores são independentes e auto-correlacionados estatisticamente, não considerando a variação interanual, enquanto a individualização dos eventos anuais aproxima-se da realidade aleatória dos fenômenos hidrológicos (Cruz e Tucci, 2008).

Tabela 2.6 - Q_{95} anual (m3/s) de 1972 a 2017

ano	**Q_{95}**	**ano**	**Q_{95}**	**ano**	**Q_{95}**	**ano**	**Q_{95}**
1972/1973	4,4	1983/1984	9,4	1999/2000	10,5	2010/2011	4,9
1973/1974	8,3	1984/1985	9,5	2000/2001	10,6	2011/2012	6,4
1974/1975	7,8	1985/1986	6,7	2001/2002	13,6	2012/2013	4,6
1975/1976	7,6	1986/1987	6,0	2002/2003	7,4	2013/2014	6,7
1976/1977	9,5	1987/1988	4,8	2003/2004	4,8	2014/2015	5,1
1977/1978	18,1	1988/1989	3,8	2004/2005	7,2	2015/2016	1,2
1978/1979	12,0	1989/1990	7,8	2005/2006	8,6	2016/2017	3,3
1979/1980	10,3	1990/1991	12,1	2006/2007	17,6	2017/2018	5,0
1980/1981	20,9	1996/1997	8,7	2007/2008	5,8		
1981/1982	13,6	1997/1998	3,4	2008/2009	3,6		
1982/1983	8,0	1998/1999	3,1	2009/2010	5,9		

Ainda, visto que a série completa não é estácionária para as vazões mínimas, recomenda-se utilizar como referência o período posterior à década de 80, pois para o período entre 1985 e 2017 as séries foram consideradas estácionárias a 5% de significância (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 - Análise de estacionariedade das séries de precipitação (mm) e vazão (m³/s) para os períodos de 1985 a 2003 (A) com 2003 a 2017 (B)*

	s^2 (A)	s^2 (B)	Média A	Média B	T	F
P01639000	59628,95	30848,38	1088,36	1073,03	0,85	0,25
P01640000	53615,66	32413,98	811,06	773,53	0,64	0,38
P01640009	125957,69	19580,91	828,89	700,09	0,22	0,00
P01640012	126661,06	68732,38	1137,01	999,21	0,25	0,28
P01639004	97901,95	37263,20	997,30	917,81	0,43	0,09
P01639026	71935,44	37771,70	1216,48	1118,24	0,28	0,26
Pmédia	80732,62	35938,06	1049,27	950,66	0,29	0,16
Qmédia	88,30	47,30	23,25	18,69	0,15	0,27
Q_{50ano}	46,81	23,77	15,49	12,86	0,25	0,24
Q_{90ano}	14,12	8,29	9,07	6,82	0,09	0,35
Q_{95ano}	10,94	14,27	7,72	6,13	0,25	0,64
Qmínima	7,90	4,90	6,60	4,90	0,09	0,40
Qmáxima	9295,06	9163,25	180,89	177,25	0,92	0,98

* onde P(código) é a precipitação média anual de cada estação, Pmédia é a precipitação média anual na bacia, e Q_{50}, Q_{90} e Q_{95} são as vazões de permanência anuais, s^2 é a variância, t e F são os valores da probabilidade para os testes Student e Fisher, respectivamente.

Recortando a série para o período de 1985 e 2017, exceto os anos sem dados, a curva de permanência resultou em uma Q_{95} igual a 3,9 m^3/s, e para 2007 à 2017, é 3,4 m^3/s, o que resultaria numa vazão outorgável próximo ao ponto de monitoramento igual a 2,64 m³/s. Este resultado explicita a necessidade de avançar as discuções deste critério, no âmbito da gestão, visto que de acordo com o relatório gerado no sítio eletrônico da ANA, atualmente o rio Buranhém possui, ao longo de todo o curso de água, um total de outorgas de direito de uso para captação de 2,51 m³/s, sendo 88% desta vazão referentes ao abastecimento do município de Eunápolis até o ano de 2052 (ANA, 2018), o que, diante de um risco de desabastecimento, pode impedir o seu uso como manancial em outros municípios.

CONSIDERAÇÕES

Os índices hidrometeorológicos calculados demonstram a variabilidade da chuva e da vazão, bem como a disponibilidade hídrica próximo à estação fluviométrica e o comportamento hidrológico da bacia.

O rio Buranhém é naturalmente pouco perenizado, mantendo-se na maior parte do tempo com vazões abaixo da minima média. O mês com menor disponibilidade hídrica é setembro e a maior, em dezembro. O período seco ocorre entre maio e agosto, quando chove apenas 27% do total anual, apresentando vazão média igual a 15,22 m³/s, próxima a Q_{50}. As

vazões de permanência em 95% do tempo de cada ano demonstraram que a consideração do período de referência é importante para o melhor aproveitamento e gestão da disponibilidade hídrica, visto que variam até 43% de um ano para o outro.

Notamos também que a vazão do Buranhém sofre influências diretas da precipitação, que por sua vez varia espacialmente na bacia e com o clima da região, que é influenciado pelo El Niño – Oscilação Sul (ENSO), porém estes por si só não configuram como unanimes influências na vazão.

Uma vez que há grande variabilidade anual nas vazões, atreladas também ao uso ocupação do solo na bacia, sugere-se o estudo destas variáveis considerando o efeito destas na resposta hidrológica da bacia, levando em consideração as demais características fisiográficas, buscando uma análise integrada dos processos envolvidos.

Diante da indicação deste recurso hídrico como futuro manancial de abastecimento do municipio de Porto Seguro, tendo em vista o crescimento populacional e econômico da região, e considerando um possível efeito dos fenômenos climáticos, os estudos hidroclimatológicos são fundamentais, assim como o aumento da rede de monitoramento e a realização da regionalização das vazões, de modo a fornecer mais informações e favorecer a gestão deste recurso essencial.

Capítulo 3

USO DE BASES DE DADOS NACIONAIS PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ALTERAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA DISPONIBILIDADE HIDRICA:

Estudo de caso na Bacia Hidrográfica do rio Buranhém

RESUMO

Objetiva-se com este trabalho verificar as influências das mudanças no uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Buranhém. Os dados analisados referentes ao comportamento hidrológico são do Hidroweb e os dados de uso e ocupação do solo são do MapBiomas, analisados com o auxílio dos softwares SisCAH, Hidro e QGIS. A associação das variáveis foi quantitativa, através de estatística descritiva e aplicação do método de correlação simples. A escala temporal desta análise foi definida pela disponibilidade dos dados de uso e ocupação do solo do MapBiomas, que resultou em uma série de 28 anos entre 1985 a 2017. Os resultados demonstraram que a vegetação florestal apresentou correlação negativa com as vazões de permanência Q_{95} e Q_{50}. A maior correlação encontrada na vazão foi da precipitação. Não ocorreram correlações da vazão em função de outros usos do solo, porém ressalta-se que mudanças significativas na paisagem da bacia ocorreram anteriormente ao período do estudo.

Palavras-chave: Geoprocessamento, vazão, precipitação, cobertura vegetal.

ABSTRACT

The aim's work is to verify the influence of changes in soil use and occupation on the water availability of the Buranhém river basin. The analyzed data regarding the hydrological behavior are from Hidroweb and the land use and occupation data are from MapBiomas, analyzed using the software SisCAH, Hidro and QGIS. The association of variables was quantitative, through descriptive statistics and application of the simple correlation method. The temporal scale of this analysis was defined by the availability of land use and occupation data from MapBiomas, which resulted in a series of 28 years between 1985 and 2017. The results showed that forest vegetation had a negative correlation with Q95 and Q50. The highest correlation found in the flow was precipitation. There were no flow correlations due to other uses of the soil, however, it is noteworthy that significant changes in the landscape of the basin occurred prior to the study period.

Keywords: Geoprocessin, runflow, rainfall, vegetal landcover.

INTRODUÇÃO

Uma vez que os usos e ocupações do solo impactam a qualidade dos recursos hídricos direta e indiretamente, de forma pontual e distribuída, transferindo esses efeitos em direção à foz (Pinheiro et al, 2014) e que a cobertura de vegetação florestal, favorece a redução da erosão laminar e a conservação do solo e da água, equilibrando as vazões máximas e mínimas, ainda que o consenso científico seja maior com relação ao seu papel na qualidade do que na quantidade de água produzida em uma bacia (Pereira et al., 2014). Além da indiscutível contribuição das florestas para a conservação da biodiversidade e equilíbrio dos ecossistemas,

a sua influência no ciclo hidrológico, ainda é objeto de diversos estudos. Ainda, o seu papel ao nível da atmosfera, onde atua na produção de água através do equilíbrio do clima e do microclima, pois áreas não florestadas apresentam maiores flutuações de temperatura e umidade (Tucci, 2002). Por outro lado, o reflorestamento também interfere na produção de água, reduzindo o escoamento superficial, principalmente em regiões mais secas, onde a evapotranspiração aumenta consideravelmente com a vegetação de maior porte e raizes mais profundas (Farley et al, 2005), este deficit de água no solo depende das espécies utilizadas e do estágio de regeneração florestal.

Apesar das relações serem tipicamente não lineares, medir e testar a correlação entre vazão e precipitação é importante, para identificar a extensão e as possíveis causas das variações (Joseph et al, 2013).

O estudo do comportamento hidrológico do rio Buranhém, realizado em outra etapa deste trabalho, demonstrou que o mesmo é pouco regularizado ou pouco perene devido aos fatores naturais, visto que apresenta vazões médias muito superiores às vazões medianas, ou Q_{50}, dada à elevada amplitude entre as vazões máximas e mínimas, o que indica a necessidade de planejar medidas para garantir a disponibilidade de água visando ao equilíbrio entre as demandas antrópicas e ecológicas. Por este motivo é de suma importância conhecer os aspectos que interferem nesse sistema, de maneira geral, para subsidiar as ações dos órgãos responsáveis pela gestão de recursos hídricos e estabelecer medidas visando o desenvolvimento sustentável. Desta forma, objetivou-se com este trabalho verificar as influências das mudanças no uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Buranhém, tendo como objetivos específicos: utilizar bases de dados nacionais para testar uma metodologia facilmente replicável em outras bacias; correlacionar a variação anual das vazões com o uso e ocupação do solo na bacia; verificar a correlação entre a precipitação e a vazão anuais para criação de um modelo empírico para preenchimento das falhas nos dados de vazão.

MATERIAL E MÉTODOS

A área considerada neste trabalho é a área de drenagem a montante da estação fluviométrica, Fazenda Limoeiro, código 55170000.

O período deste estudo foi determinado pela disponibilidade de dados na plataforma online do Projeto MapBiomas, onde os arquivos para cada bioma são baixados na forma de dados matriciais. Para avaliar estes dados tendo como referência o recorte da bacia hidrográfica do rio Buranhém, foi utilizado o software QGIS 2.18, em que o arquivo matricial

foi reprojetado para o sistema de coordenadas planas, UTM e fuso 24 sul, recortado para a área de interesse e calcularam-se as áreas, somando os pixels de cada classe para cada ano de interesse através da ferramenta de estatísticas do raster, exportando os valores para planilhas eletrônicas.

A partir da análise qualitativa dos mapas gerados, e da comparação com os dados do trabalho de Ribeiro et al (2012) e imagens do *Google Earth*, como demonstrado no primeiro capítulo deste trabalho, foram consideradas as classes:

- Sem vegetação: soma das áreas mapeadas para as classes infraestrutura urbana e outras áreas não vegetadas.
- Pastagem: pode englobar pasto limpo, pastagens degradadas ou com solo exposto e campos rupestres.
- Mosaico de agricultura e pastagem: podem englobar pasto sujo ou capoeiras, formações campestres, pequenas plantações de culturas anuais ou perenes e campos rupestres.
- Formação Florestal: vegetação da Mata Atlântica, primária ou secundária, em vários níveis de regeneração, com características de floresta ombrófila densa ou estacional semi-decidual, cultivos agroflorestais de cacau (cabruca), pode englobar partes de florestas plantadas.
- Floresta Plantada: silvicultura de eucalipto para produção de celulose.

Variáveis Hidrológicas

As séries de dados de vazão e precipitação, das estações fluviométrica e pluviométrica, foram adquiridos no Hidroweb (ANA, 2017). A série de vazão foi processada no Sistema Computacional para Análises Hidrológicas - SisCAH 1.0, desenvolvido por Sousa et al. (2009). Foram calculadas as vazões médias, mínimas, máximas e de permanência em 90%, 95% e 50% do tempo para cada ano da série de 1985 até 2017. As séries de precipitação foram processadas e analisada conforme a metodologia descrita no capítulo 2.

Análises estatísticas

Para entender a relação direta entre as variáveis, de uso e ocupação com disponibilidade hídrica, foram realizadas análises quantitativas, através da aplicação do método de correlação. Para isto, fez-se inicialmente a análise da normalidade dos dados realizada através do teste de distribuição, de Shapiro-Wilk, que demonstrou, em outro estudo, desempenho satisfatório de acertos para distribuições com tamanho amostral igual a 30 (Torman et al, 2012). O teste de normalidade foi utilizado para determinar se a correlação para

cada conjunto de dados é paramétrica ou não paramétrica. Assim, para o conjunto de dados que seguiu distribuição normal, aplicou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), uma análise paramétrica e resulta em um índice situado entre -1,0 e 1,0, significando correlação perfeita negativa ou positiva, respectivamente (Naghettini et al, 2007). Enquanto, para as variáveis que não apresentaram distribuição normal, são utilizados testes não paramétricos, que organizam os dados originais em postos ordenados, como é o caso do teste de Spearman (p) (Miot, 2017), com um índice situado entre -1,0 e 1,0, significando correlação perfeita negativa ou positiva, respectivamente.

Desta forma, a primeira análise identificou quais variáveis seguem a distribuição normal ao nível de 5% de probabilidade no teste de Shapiro-Wilk (W). Assim, para todas as variáveis que apresentaram valores maiores que 5% (Pr > W 0.05) assumiu-se a distribuição normal, utilizando a correlação de Pearson, enquanto para as variáveis que apresentaram valor menor que 5% (Pr < W 0.05) a análise seguinte foi não-paramétrica, neste caso o conjunto de dados foi analisado pela correlação de Spearman. Todas as análises estatísticas foram realizadas através de um algoritmo desenvolvido no software SAS University Editon, com o procedimento proc means.

RESULTADOS

Uso e ocupação do solo entre os anos de 1985 e 2017

As maiores mudanças de uso e ocupação do solo ocorreram entre 1985 e 1989 (Figura 3.1), quando a vegetação florestal foi transformada principalmente em pastagem, também se verificou um aumento na vegetação florestal após 2006 sendo mais expressivo apenas no último ano (Tabela 3.1).

De maneira geral, a paisagem da bacia não passou por grandes alterações, já que desde 1985 a matriz da paisagem era a pastagem, permeada por pequenos cultivos anuais e fragmentos florestais. As classes Floresta Plantada e Sem Cobertura Vegetal representam menos de 1% da área.

Tabela 3.1- Uso e ocupação do solo (km²) no trecho da bacia do rio Buranhém à montante da estação fluviométrica entre 1985 e 2017

Ano	Áreas Sem Vegetação	Pastagem	Mosaico Agricultura e Pasto	Formação Florestal	Floresta Plantada (Eucalipto)
1985	6,45	1012,31	591,04	788,30	0,00
1986	9,56	1134,88	551,82	701,84	0,00
1987	10,13	1190,89	557,86	639,21	0,01
1988	8,35	1265,09	499,82	624,84	0,01
1989	17,82	1319,44	469,37	591,46	0,01
1990	8,53	1333,51	488,09	567,97	0,00
1991	8,95	1321,19	494,98	572,98	0,00
1992	5,56	1339,71	475,52	577,28	0,04
1993	5,56	1339,71	475,52	577,28	0,04
1994	4,03	1330,22	506,19	557,60	0,07
1995	4,74	1351,13	490,46	551,78	0,00
1996	7,19	1418,15	464,23	508,50	0,04
1997	6,10	1427,59	469,22	495,19	0,01
1998	6,63	1421,65	461,71	508,05	0,06
1999	6,28	1434,93	448,57	507,06	1,25
2000	5,92	1459,60	429,11	501,62	1,84
2001	6,46	1477,87	404,54	507,53	1,70
2002	6,37	1474,45	404,09	511,58	1,61
2003	6,63	1463,03	422,86	504,35	1,22
2004	7,69	1470,91	420,53	498,87	0,11
2005	10,29	1477,50	412,30	497,69	0,31
2006	11,12	1437,91	445,80	502,26	1,01
2007	9,53	1421,84	440,68	524,16	1,90
2008	8,95	1415,54	428,84	534,89	9,88
2009	10,88	1391,53	413,97	569,00	12,72
2010	5,13	1409,16	395,27	572,49	16,05
2011	6,36	1444,80	354,67	572,76	19,52
2012	5,25	1448,03	345,10	582,17	17,55
2013	6,84	1450,65	348,53	582,11	9,97
2014	7,22	1480,52	333,85	568,25	8,27
2015	10,07	1482,68	347,87	545,21	12,27
2016	15,45	1443,60	392,25	533,77	13,04
2017	8,44	1448,82	309,08	618,29	13,47

Fonte dos dados: Adaptado do MapBiomas

As principais alterações nos usos e ocupações do solo identificadas, em termos de áreas, foram o aumento da pastagem em detrimento às formações florestais, principalmente até os anos 90, e após 2008 a recuperação de formações florestais e a redução das dos mosaicos de agricultura e pastagem, principalmente no último ano (Figura 3.1).

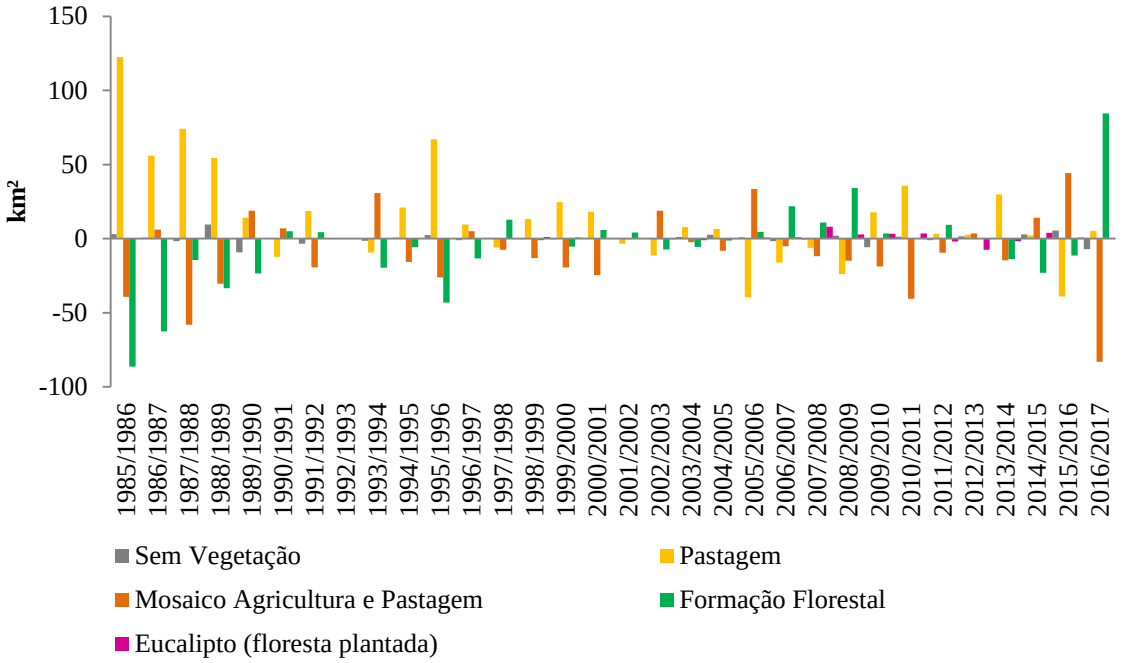


Figura 3.1- Classes mapeadas pelo MapBiomas na área de estudo - ganhos e perdas (km²) entre 1985 e 2017.

É importante ressaltar que, conforme os dados do trabalho de Ribeiro et al (2012), desde 1990 há na bacia poucos fragmentos florestais em estágio avançado de regeneração, sendo que até 2007 houve uma redução das áreas ocupadas por este tipo de vegetação, entende-se, portanto, que o computo de ganhos na classe Formação Florestal refere-se majoritariamente à vegetação em estado inicial ou médio de regeneração.

De acordo com os dados do MapBiomas, a Pastagem é a classe predominante, ocupando cerca de 59% do território que ainda tem 12% ocupado pelo Mosaico de Agricultura e Pastagem.

Análise dos dados hidrometeorológicos

As séries de precipitação (Figura 3.2) e vazão (Figura 3.3) são estacionárias conforme os testes realizados (Tabela 2.5) para a hipótese de igualdade das médias e homogeneidade das variâncias (H0) para os dois períodos a 5% de probabilidade.

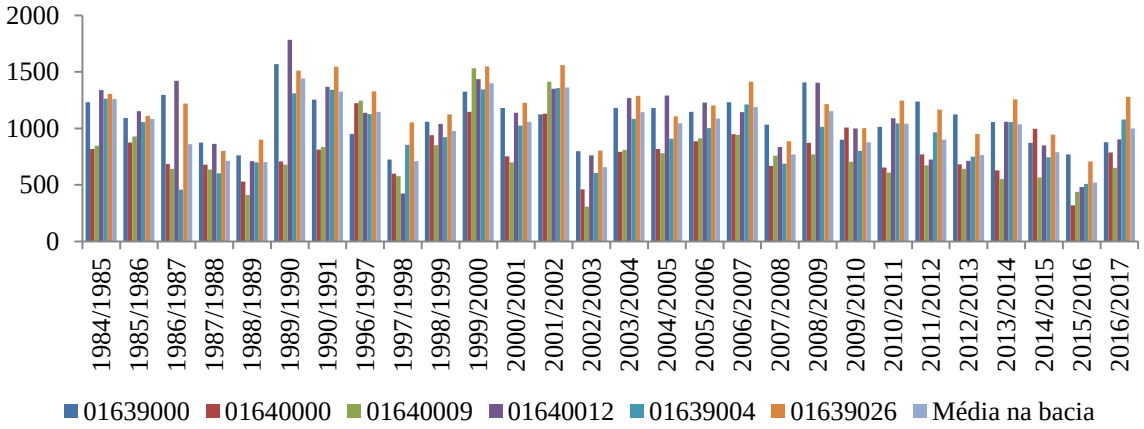


Figura 3.2 - Precipitação anual (mm) nas estações e média na bacia pelo método de Thiessen.

As vazões máximas anuais são aproximadamente dez vezes maiores que as vazões médias.

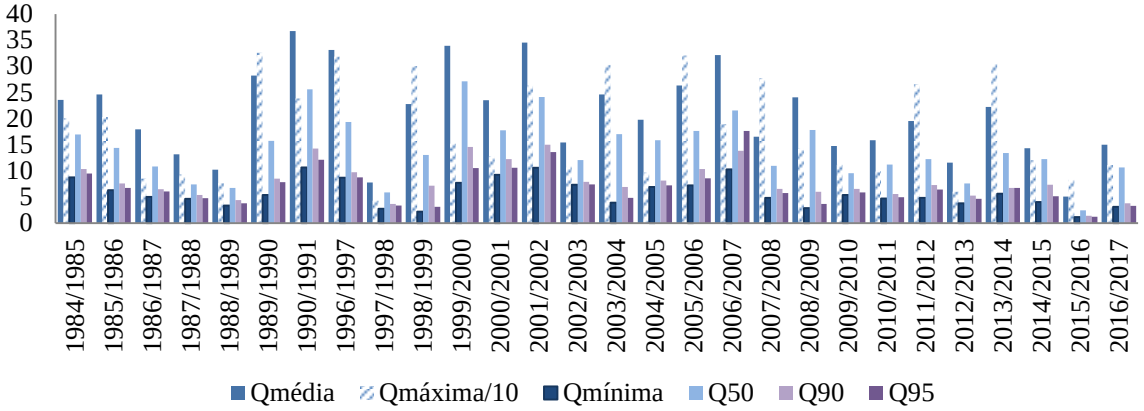


Figura 3.3 - Vazões anuais (m³/s) médias, mínimas, máximas e de permanência no ano (50, 90 e 95%) registradas na estação fluviométrica.

A Tabela 3.2 apresenta os valores da estatística descritiva para as 18 variáveis consideradas nesse estudo para o período de 1985 a 2017, excluindo os anos de 1992 a 1995, resultando em séries históricas de 28 anos, onde P(código) é a contribuição de cada estação pluviométrica e Pmédia é a precipitação média na bacia, conforme o método de Thiessen, em mm; Qmédia, Qmáx e Qmín são, respectivamente, vazão média, máxima e mínima anual, Q_{50}, Q_{90} e Q_{95} são as vazões de permanência anuais.

Uma vez que a média e o desvio padrão podem não reproduzir a tendência central e dispersão dos dados que não se revelem aderentes à distribuição normal, a estatística descritiva para estas variáveis é melhor representada pela mediana (Miot, 2017).

Análise de Correlação

A análise estatística de acordo com a correlação de Pearson, quando as variáveis demonstraram distribuição normal, e correlação de Spearman, quando uma das variáveis não satisfez este critério, resultou em correlações significativas a 5% de probabilidade (Tabela 3.3). Isto significa que para os coeficientes a hipótese nula (H0) de não haver correlação, conforme o teste T - Student foi rejeitada.

Tabela 3.2 - Estatísticas descritivas das variáveis e resultado do teste de normalidade

Variável	Mín	Máx	Média	Mediana	Erro Padrão	Desvio Padrão	CV	Normal
Sem veg.	5,1	17,8	8,5	8,0	0,5	2,9	34,2	não
Pasto	1012,3	1482,7	1391,4	1436,4	21,7	115,0	8,3	não
Mososaico	309,1	591,0	431,5	425,9	13,1	69,2	16,0	sim
F. Florestal	495,2	788,3	561,6	556,6	12,8	67,7	12,1	não
Flor. Plan.	0,0	19,5	5,1	1,4	1,2	6,5	127,3	não
P01639000	35,0	75,7	52,2	53,5	1,9	10,1	19,3	sim
P01640000	2,6	9,9	6,4	6,4	0,3	1,7	25,8	sim
P01640009	19,7	97,5	48,7	44,7	3,3	17,4	35,7	não
P01640012	130,5	550,9	329,9	344,2	18,4	97,2	29,5	sim
P01639004	233,6	691,8	488,4	513,9	24,9	131,7	27,0	sim
P01639026	45,0	99,4	74,4	77,0	2,8	15,0	20,1	sim
Pmédia	520,0	1440,0	1000,0	1038,6	45,8	242,3	24,2	sim
Qmédia	5,1	36,8	21,0	21,0	1,6	8,4	40,1	sim
Q_{50}	2,4	27,1	14,2	13,2	1,1	6,0	42,2	sim
Q_{90}	1,4	15,0	7,9	7,2	0,7	3,5	43,8	sim
Q_{95}	1,2	17,6	6,9	6,2	0,7	3,6	51,6	não
Qmax	42,7	325,7	179,1	147,3	17,8	94,3	52,7	não
Qmin	1,2	10,6	5,7	5,2	0,5	2,6	45,7	sim

Tabela 3.3 - Correlações de Pearson e Spearman entre as variáveis de uso e ocupação do solo com as variáveis hidrometeorológicas para a bacia do rio Buranhém

		Correlação de Pearson (r)											Correlação de Spearman (p)						
		Mosaico	f1639000	f1640000	f1640012	f1639004	f1639026	Thiessen	Qmédia	Q50	Q90	Qmin	Sem Veg	Pasto	Floresta	Eucalipto	f1640009	Q95	Qmax
Correlação de Pearson (r)	Mosaico	1,00	0,24	0,05	0,37	0,06	0,13	0,21	0,26	0,17	0,22	0,29	0,18	**-0,77***	0,15	**-0,88***	0,32	0,24	0,10
	f1639000	0,24	1,00	0,33	**0,84***	**0,56***	**0,69***	**0,76***	**0,67***	**0,64***	**0,53***	0,36	-0,02	-0,12	0,02	-0,18	**0,56***	**0,51***	**0,44***
	f1640000	0,05	0,33	1,00	**0,49***	**0,59***	**0,59***	**0,63***	**0,70***	**0,70***	**0,63***	**0,48***	-0,26	0,06	-0,27	-0,01	**0,82***	**0,44***	**0,46***
	f1640012	0,37	**0,84***	**0,49***	1,00	**0,63***	**0,77***	**0,87***	**0,77***	**0,74***	**0,61***	**0,50***	0,04	-0,15	-0,09	**-0,38***	**0,65***	**0,58***	**0,45***
	f1639004	0,06	**0,56***	**0,59***	**0,63***	1,00	**0,89***	**0,93***	**0,82***	**0,81***	**0,70***	**0,59***	-0,32	0,08	-0,15	-0,18	**0,68***	**0,60***	**0,59***
	f1639026	0,13	**0,69***	**0,59***	**0,77***	**0,89***	1,00	**0,94***	**0,86***	**0,84***	**0,73***	**0,60***	-0,29	0,06	-0,14	-0,19	**0,63***	**0,62***	**0,54***
	Thiessen	0,21	**0,76***	**0,63***	**0,87***	**0,93***	**0,94***	1,00	**0,90***	**0,88***	**0,75***	**0,62***	-0,16	-0,03	-0,18	-0,26	**0,78***	**0,67***	**0,64***
	Qmédia	0,26	**0,67***	**0,70***	**0,77***	**0,82***	**0,86***	**0,90***	1,00	**0,96***	**0,88***	**0,76***	-0,15	-0,02	-0,30	-0,34	**0,83***	**0,75***	**0,74***
	Q50	0,17	**0,64***	**0,70***	**0,74***	**0,81***	**0,84***	**0,88***	**0,96***	1,00	**0,92***	**0,78***	-0,14	0,17	**-0,40***	-0,21	**0,78***	**0,76***	**0,64***
	Q90	0,22	**0,53***	**0,63***	**0,61***	**0,70***	**0,73***	**0,75***	**0,88***	**0,92***	1,00	**0,91***	-0,23	0,17	**-0,38***	-0,31	**0,70***	**0,92***	**0,59***
	Qmin	0,29	0,36	**0,48***	**0,50***	**0,59***	**0,60***	**0,62***	**0,76***	**0,78***	**0,91***	1,00	-0,21	0,04	-0,18	-0,34	**0,54***	**0,98***	**0,40***
Correlação de Spearman (p)	Sem Veg	0,18	-0,02	-0,26	0,04	-0,32	-0,29	-0,16	-0,15	-0,14	-0,23	-0,21	1,00	-0,21	0,14	-0,22	-0,22	-0,21	-0,20
	Pasto	**-0,77***	-0,12	0,06	-0,15	0,08	0,06	-0,03	-0,02	0,17	0,17	0,04	-0,21	1,00	**-0,57***	**0,51***	-0,12	0,08	0,06
	Floresta	0,15	0,02	-0,27	-0,09	-0,15	-0,14	-0,18	-0,30	**-0,40***	**-0,38***	-0,18	0,14	**-0,57***	1,00	-0,06	-0,30	-0,22	-0,29
	Eucalipto	**-0,88***	-0,18	-0,01	-0,38*	-0,18	-0,19	-0,26	-0,34	-0,21	-0,31	-0,34	-0,22	**0,51***	-0,06	1,00	-0,23	-0,31	-0,16
	f1640009	0,32	**0,56***	**0,82***	**0,65***	**0,68***	**0,63***	**0,78***	**0,83***	**0,78***	**0,70***	**0,54***	-0,22	-0,12	-0,30	-0,23	1,00	**0,55***	**0,58***
	Q95	0,24	**0,51***	**0,44***	**0,58***	**0,60***	**0,62***	**0,67***	**0,75***	**0,76***	**0,92***	**0,98***	-0,21	0,08	-0,22	-0,31	**0,55***	1,00	**0,46***
	Qmax	0,10	**0,44***	**0,46***	**0,45***	**0,59***	**0,54***	**0,64***	**0,74***	**0,64***	**0,59***	**0,40***	-0,20	0,06	-0,29	-0,16	**0,58***	**0,46***	1,00

em que: * correlações significativas ao nível de 5% (p < 0,05); Mosaico - Mosaico de agricultura e pastagem; Sem Veg – Sem vegetação; Pasto – Pastagem; Floresta – Formação Florestal; Eucalipto – Floresta Plantada; f1639000 – Estação pluviométrica 01639000; f1640000 – Estação pluviométrica 01640000; f1640012 – Estação pluviométrica 01640012; f1639004 – stação pluviométrica 01639004; f1639026 – Estação pluviométrica 01639026; f1640009 – Estação pluviométrica 01640009; Thiessen – Precipitação média na bacia pelo método dos polígonos de Thiessen.

A precipitação média na bacia exerce forte influência na vazão média (r = 0,9) e também tem correlação forte nas demais vazões. As estações Guaratinga e Duas Barras demonstraram maior influência nas vazões anuais mínimas, médias e de permanência, com coeficientes entre 0,54 e 0,86. Apesar de apresentar menor área de contribuição (Tabela 2.4), a estação Guaratinga é a que apresenta maiores índices pluviométricos mensais durante o período de recessão do hidrograma de vazões (Figura 2.5), o que demonstra a importância de considerar a distribuição espacial destas variáveis bem como a variabilidade sazonal. A estação Rubim foi a única que não apresentou, estatisticamente, distribuição normal da variável, e por isso a única que tem como resultado o coeficiente de Spearman, que demonstrou uma correlação forte com as vazões (ρ = 0,83). Sendo uma estação com pequena área de contribuição, baixos índices pluviométricos no período de estiagem, entre maio e agosto, e índices próximos às demais no período chuvoso, o que demonstra a relevância da contribuição do volume precipitado na região oeste da bacia para a inércia hídrica.

Apenas a classe Formações Florestais apresentou correlação significativa (Tabela 3.4) com as vazões, demonstrando influência nas vazões de permanência Q_{50} e Q_{90}. Este resultado poderia ser associado ao aumento da evapotranspiração, visto que esta aumenta consideravelmente com a vegetação de maior porte, principalmente em regiões mais secas, reduzindo a vazão anual dentro de 5 anos de replantio, enquanto as reduções na vazão máxima podem ser esperadas entre 15 e 20 anos (Farley et al., 2005). Porém, esta hipótese apenas confirmar-se-ia com o cálculo do balanço hídrico.

Tabela 3.4 - Correlações significativas de Pearson e Spearman entre as variáveis estudadas ao nível de 5% de probabilidade

	Qmédia	**Q50**	**Q90**	**Q95**	**Qmax**	**Qmin**
F. Florestal	-	-0,40	-0,38	-	-	-
P01639000	0,67	0,64	0,53	0,51	0,44	-
P01640000	0,70	0,70	0,63	0,44	0,46	0,48
P01640009	0,83	0,78	0,70	0,55	0,58	0,54
P01640012	0,77	0,74	0,61	0,58	0,45	0,50
P01639004	0,82	0,81	0,70	0,60	0,59	0,59
P01639026	0,86	0,84	0,73	0,62	0,54	0,60
Pmédia	0,90	0,88	0,75	0,67	0,64	0,62

Não foi encontrada correlação significativa entre os usos do solo e as vazões. Isto pode ser explicado pelo efeito de outras variáveis, como aumento do volume de

água captado (Santos et al., 2010), ou variabilidade climática (Morán-Tejeda et al, 2010), atuando paralelamente aos efeitos diretos da precipitação e indiretos do uso do solo.

Em outra bacia hidrográfica, com área aproximadamente igual a do Buranhém, foi possível associar o desmatamento com o incremento na tendência de variação da vazão, porém esta variação não ficou clara, recomendando estudos mais detalhados e com um maior número de variáveis (Eugénio et al., 2013). Visto que o resultado das mudanças no uso e ocupação no escoamento pode ser mais um resultado de interpretação baseada na literatura do que as análises reais, devido à dificuldade de entender exatamente quando e como tais mudanças aconteceram para incluir esta informação em uma regressão linear (Morán-Tejeda et al, 2010), se faz necessário avaliar com mais detalhes os usos e ocupações do solo, em diferentes escalas, e levar em consideração outras variáveis que possam ter influenciado a resposta hidrológica.

Em um estudo realizado numa microbacia de 973 km², foram consideradas as classes vegetação arbórea e não vegetação, numa escala de 25 anos, buscando encontrar um padrão anual de resposta hidrológica que se assemelhe ao padrão do desmatamento, onde uma não tendência foi observada nas séries de vazão, precipitação e resposta hidrológica, apesar da correlação positiva ter mostrado que a descarga média sofre influência direta do total de floresta (Almeida et al., 2009). Segundo o primeiro autor, é mais fácil identificar os efeitos hidrológicos das mudanças de uso e de cobertura da terra em bacias menores, onde as condições que interferem nos resultados possam ser mais controladas, além disso, uma série temporal mais extensa pode reduzir os efeitos da aleatoriedade do comportamento dessas variáveis (Almeida, 2007). Portanto, considerando a variação espacial das características da bacia e a distribuição de chuvas sobre ela, é recomendável repetir estas análises a nível das sub-bacias, buscando identificar as unidades de resposta hidrológica, ou seja, áreas com características semelhantes.

Nesse sentido, considera-se que as limitações da metodologia utilizada podem ocorrer devido à escala espacial e temporal da análise ou da ausência de uma variável real que expressa a expansão da cobertura da terra (Morán-Tejeda et al, 2010) e sua variação no tempo.

Sabendo que a identificação de correlações com significância estatística é um processo análogo à determinação dos intervalos de confiança na modelagem hidrológica, para o qual este estudo pode ser preparação (Joseph et al, 2013).

Considerando que a interação água-solo-ar-planta-humano é apenas uma generalização, pois cada um destes elementos contém um grande número de outros elementos, que aumenta a complexidade com o tamanho da bacia e por isso certos processos podem ser ignorados ou simplificados (Cheng e Li, 2015), mesmo sabendo que estas relações são tipicamente não-lineares (Joseph et al, 2013) e a variabilidade do clima pode mascarar o papel do uso e ocupação no escoamento, especialmente quando este é estimado a partir dos resíduos de uma regressão (Morán-Tejeda et al, 2010).

Visto que as premissas básicas para a escolha de um modelo hidrológico são a definição dos objetivos, as características da bacia e do rio, e a disponibilidade de dados (Tucci, 2005), as correlações significativas mostraram a aplicabilidade dos dados para análises através de métodos estatísticos e a possibilidade de utilizá-los em um modelo empírico de transformação chuva-vazão, que permite preencher os anos com falhas e simular a disponibilidade hídrica diante de cenários climatológicos e de reflorestamento.

CONSIDERAÇÕES

A relação chuva-vazão apresentou resultados satisfatórios, sendo um bom indicativo para aplicação dos dados das estações utilizadas neste trabalho em modelos matemáticos para simular o escoamento.

O crescimento da vegetação florestal demonstrou influência na Q_{50} e na Q_{90}, porém os resultados não ficaram claros quanto ao uso e ocupação do solo, que varia inversamente na medida em que as áreas são reflorestadas. Devido à variabilidade espacial do processo de uso e ocupação, recomenda-se a divisão da bacia em unidades de resposta hidrológica de modo a avaliar estas modificações localmente, minimizando os efeitos das generalizações.

A facilidade de aquisição e análise dos dados do MapBiomas são o seu principal ponto positivo. Tratando-se de uma metodologia nova de mapeamento da cobertura vegetal, testada e validada, com resolução espacial e temporal relativamente altas, recomenda-se repetir a análise para outras bacias hidrográficas para verificar se a variação do uso do solo contabilizada por este método pode ser associada estatisticamente à variação das vazões, visto que para a bacia do Buranhém as correlações não foram significativas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que a ausência de cobertura florestal em estágio avançado em algumas regiões da bacia pode aumentar a susceptibilidade à variabilidade nas vazões, como comprovada na simulação realizada por Pereira et al. (2014) em uma pequena bacia na costa leste brasileira, quando o cenário de maior cobertura florestal apresentou maior conservação da água, normalizando as vazões máximas nos períodos de inundação e garantindo taxas de mínimas na estação seca. Reconhecendo que o uso do solo pode auxiliar drenagens pobres através de práticas conservacionistas, da recuperação de áreas degradadas e da preservação dos ambientes naturais, entende-se que identificar semelhanças nas sub-bacias, como clima, relevo e uso do solo, permite identificar a variedade de ambientes propícios ao desenvolvimento de cada formação vegetal e os diferentes esfeitos na resposta hidrológica relacionados com estas características.

. Os mapas apresentados na caracterização da área (Introdução Geral), com as formas de relevo/substrato rochoso (Figura 2) e hidrogeológicos (Figura 3) mostram que do ponto de vista da produção de água, a maior parte da bacia encontra-se sobre relevo ondulado com embasamento cristalino, caracterizado por aquíferos Fissurais com produtividade baixa ou muito baixa, sendo o aquífero poroso com produtividade elevada apenas nos tabuleiros costeiros do grupo barreiras. Isto é importante diante da não regularidade das vazões, observada no Capítulo 2, devido a menor contribuição do escoamento de base. Além disso, o elevado escoamento superficial, facilitado em áreas de maior declividade e com menor cobertura do solo, pode resultar em impactos negativos sob o ponto de vista da perda de solo.

Com base nos resultados deste trabalho, propõe-se a divisão da bacia em Regiões Hidrográficas:

- Região Oeste/Cebeceira - sub-bacias 8 e 9: intensamente antropizada, ocupada principalmente por pecuária extensiva, onde o relevo favorece o escoamento superficial e as características do aquífero não favorecem o armazenamento de água, sendo a maior parte da vazão proveniente da precipitação que apresenta os menores índices da região.
- Região Noroeste - sub-bacia 4: corresponde a região com os maiores fragmentos florestais do PARNA Alto Cariri, onde o relevo varia de ondulado a montanhoso e a precipitação é elevada.

- Região do Alto e Médio Curso - sub-bacias 5, 6 e 7: onde a matriz da paisagem é a pastagem, permeada por afloramentos rochosos, e assim como a região Oeste apresenta baixa recarga dos aquíferos, porém nesta região o escoamento superficial é intensificado pela maior pluviosidade, sendo portanto a região mais susceptível à erosão, perda de solo e assoreamento dos cursos d'água à jusante.
- Região do Médio Curso - sub-bacias 2 e 3: apresenta características que favorecem a infiltração de água e recarga do aquífero, o que associada aos maiores índices pluviométricos resulta numa maior produtividade hídrica. É a região que apresentou maiores transformações nos últimos anos, onde a paisagem apresenta os maiores fragmentos de silvicultura.
- Baixo Curso: formada pela sub-bacia 1, é caracterizada por tabuleiros costeiros e vales fluviais, onde o clima e a pluviosidade são mais influenciados pelo oceano. É a região com maior diversidade de usos do solo e produtividade hídrica favorecida pelo aquífero Barreiras.

Conhecendo melhor as características da bacia, recomenda-se que o estudo da influência do uso e ocupação do solo seja realizado de maneira distribuida, a partir das unidades de resposta hidrológica. Desta forma, é de suma importância verificar as áreas que atuam na interceptação, infiltração e armazenamento da água das chuvas, visto que estas podem indicar áreas prioritárias para a implantação de projetos de recuperação de áreas degradadas, restauração florestal e pagamento por serviços ambientais, previstos nos Planos Municipais da Mata Atlântica e no Plano Estadual de Recursos Hídricos, bem como poderão ser previstas ações no âmbito do comitê de bacias, que ainda não possui plano de bacia.

CONCLUSÃO GERAL

A bacia apresenta um alto nível de desmatamento e é coberta principalmente por pastagens e vegetação esparsa, fato que associado ao relevo, tipo de aquífero e variabilidade da precipitação contribui para a baixa regularidade das vazões. De acordo com o referencial teórico, a ocupação do territorio onde a bacia está localizada ocorreu mais intensamente entre as décadas de 60 e 70, reflentindo em uma diferença no comportamento hidrológico, identificado no início da série de dados de vazões. Esta diferença não foi computada na análise estatística devido ao recorte temporal dos dados de uso e ocupação do solo. Segundo os dados do levantamento realizado pelo Fórum Florestal, em 1990 menos de 2% da área de drenagem da estação fluviométrica estava coberto por vegetação nativa da Mata Atlântica, portanto, a maior parte dos dados considerados na avaliação anual representa vegetação florestal em crescimento, a qual apresentou correlação negativa com a Q_{50} e Q_{90}.

Por serem influenciadas pela precipitação, que demonstrou variação com os eventos El Niño e La Niña fortes, as vazões e a disponibilidade hídrica do rio Buranhém podem ser vulneráveis à variabilidade climática. Nesse sentido, também observou-se uma mudança no comportamento das séries logo na primeira década de monitoramento, o que ressalta a importância dos estudos hidroclimáticos para extensão dessas séries.

A influência da Floresta Ombrófila Densa, assim como os usos do solo, não foram demonstrados devido às limitações metodológicas, sendo um tema importante para o avanço no conhecimento sobre esta temática, por outro lado, as fortes correlações entre as vazões e precipitação demonstraram a possibilidade de gerar um modelo empírico de transformação chuva-vazão.

Diante dos resultados das análises de vazões e das demandas de abastecimento dos municípios de Eunápolis e Porto Seguro, é fundamental que estudos de regionalização de vazões e modelagem de dados sejam realizados para verificar se a disponibilidade atende às demandas nos demais trechos do rio.

REFERÊNCIAS

Addad, J. 1997. Alterações fluviais e erosão costeira. **Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 2 n. 1, p. 21–44. https://doi.org/10.21168/rbrh.v2n1.p5-13

Aksoy, H.; KURT, I.; ERIS, E. 2009. Filtered smoothed minima baseflow separation method. Journal of Hydrology. v.372. p.94–101

Almeida, H. A. 2002. Relação Entre o Fenômeno El Niño Oscilação Sul e a Ocorrência de Chuvas no Sudeste da Bahia. **Boletim Técnico n. 183**. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. 22 p.

Almeida, T. M. et al. (2008). Reorganização Socioeconômica no Extremo Sul da Bahia Decorrente da Introdução da Cultura do Eucalipto. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20 n. 2, p. 5-18. http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132008000200001.

Almeida. A.Q. 2007. Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do córrego do Galo, Domingos Martins, ES. Dissertação de Mestrado. Espírito Santo: UFES.

Almeida. A.Q. et al. 2009. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na Análise multitemporal do desmatamento ocorrido na microbacia do córrego do Galo, Domingos martins, ES. **Revista Científica Eletrônica De Engenharia Florestal**. v. 14 n.8. p. 74 - 88.

ANA. Agência Nacional de Águas. Atlas Brasil. **Abastecimento Urbano de Água**. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=13>. Acesso em: 15/05/2018.

_____. Atlas Brasil. **Abastecimento Urbano de Água**. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=13>. Acesso em: 15/05/2018.

_____. Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=13>. Acesso em: 15/05/2018.

_____. 2005. Termo de referência para elaboração do Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Araguaia e Tocantins.

_____. **Hidroweb**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 31 ago. 2017.

_____. **Painel Gerencial de Outorgas**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMjY0ZDgxNjAtNDNlNS00NGM4LWIxNzgtZDZhNmI0MWRhYWFkIiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9>. Acesso em: 31/10/2018.

_____. **Portal de dados abertos**. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/8014bf6e92144a9b871bb4136390f732_0/data?

geometry=-44.751%2C-16.709%2C-34.298%2C-14.859&selectedAttribute=inidescliq>. Acesso em: 31 ago. 2017.

_____.Agência Nacional de Águas (Brasil). Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. **Cadernos de capacitação em recursos hídricos**. v.1 vol. 6. 50 p. Brasília: SAG, 2011.

Azevedo, D. G.; Gomes, R. L.; Moraes, M. E. B. Bacia do rio Buranhém: análise integrada da paisagem. **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus, BA: Editus, 2016. p. 103–119.

Azevedo, D.G.; Gomes, R. L.; Moraes, M. E. B. 2016 Estudos da Fragmentação da Paisagem na Definição de Áreas Prioritárias Para a Recuperação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Buranhém. **Bol. geogr., Maringá**, v. 34, n. 2, p. 127-144. http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i2.25554

BAHIA. 1997. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. **Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacias Hidrográficas do Extremo Sul**. Salvador, Bahia: HYDROS.

BAHIA. *Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009*. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, Salvador, 08 de out. 2009.

Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M. 2007. Precipitação. In.: Hidrologia: ciência e aplicação.

Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH.

BRASIL, *Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997*. **Diário Oficial [da] república Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 de jan. 1997.

_____. *Decreto nº 9.254, de 29 de dezembro de 2017*. **Diário Oficial [da] república Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 de dez. 2017.

_____. Lei n˚ 12.651 *de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção de vegetação native (Código Florestal). **Diário Oficial [da] república Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 de maio de 2012.

_____. *Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006*. Lei da Mata Atlântica. Brasília, 22 de dezembro de 2006. **Diário Oficial [da] república Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 de dez. 2006.

_____. *Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006*. Lei da Mata Atlântica. Brasília, 22 de dezembro de 2006. **Diário Oficial [da] república Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 de dez. 2006.

_____. *Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007*. Política Nacional de Saneamento Básico. **Diário Oficial [da] república Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 5 de jan. 2007.

_____. *Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997*. **Diário Oficial [da] república Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 de jan. 1997.

_____, *Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] república Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 de jan. 1997.

Calijuri, M.L., Castro, J., Costa, L.S. et al. 2015. Impact of land use/land cover changes on water quality and hydrological behavior of an agricultural subwatershed. **Environ Earth Sci**. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4550-0

Chaves, R. R. 1999. **Variabilidade da Precipitação na Região Sul do Nordeste e Sua Associação com Padrões Atmosféricos**. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: INPE.

Cheng, G. D.; Li, X. 2015. Integrated research methods in watershed science. **Science China: Earth Sciences**. v 58. p. 1–10. https://doi.org/10.1007/s11430-015-5074-x

Christofoletti, A. 1980. **Geomorfologia**, 2ª edição, Editora Edgard Blucher, São Paulo 188 p.

Collischonn, W.; Dornelles, F. 2015. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2a ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 336 p.

Collischonn, W.; Fan, F. 2012. Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Dlow Filter. **Hydrological Processes**, 27 (18): 2614-1622. https://doi.org/10.1002/hyp.9391.

Costa, M. H.; Coe, M. T.; Guyot, J. L. 2009. Effects of Climatic Variability and Deforestation on Surface Water Regimes. **Amazonia and Global Change**. v. 186. p. 525-541. https://doi.org/10.1029/2008GM000721

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

Dutra, G.F.; Timmers, F.J.; Mesquita, C.A.B.; Bedê, L.C.; Pinheiro, T.C.; Pinto, L.P. Biodiversidade e desenvolvimento na Bahia. **Bahia análise de dados**. Salvador, v. 22, n. 3, p.485-502. 2012.

EMBRAPA. 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10a Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 83p.

Euclydes. H.P.; Sousa, E.F.; Ferreira, P.A. 1999. Regionalização Hidrológica, Manual do Programa. **HIDROTEC**. Viçosa, MG: UFV / MMA /RURALMINAS, 149p.

Eugénio, F.V.; Santos, A.R.; Dalfi, R.L.; Moreira, T.R. 2013. Influência do Desmatamento na Disponibilidade Hídrica da Bacia Hidrográfica de Rive, Alegre, ES, Brasil. **Silva Lusitana**, v.21 n.2, p. 205 - 218.

Farley, K. A.; Jobbagy, E. G.; Jackson, R. B. 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology,** v. 11, p.1565–1576. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01011.x

FBDS. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Mapeamento em Alta Resolução dos Biomas Brasileiros: Tema: hidrografia. Disponível em: http://geo.fbds.org.br/ Acesso em: 06/02/2019.

Gajbhiye, S.; Mishra, S.K.; Pandey, A. 2014. Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: an RS and GIS perspective. **Appl Water Sci,** v. 4 n. 1, p. 51–61. https://doi.org/10.1007/s13201-013-0129-7

Genz, F.; Lessa, G. C.; Cirano, M. ; Lima, G. M. P. 2003. As tendências de longo prazo das vazões fluviais do estado da Bahia. In: II Congresso Sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 2003, Recife.

Genz, F.; TANAJURA, C. A. S. 2013. Trends and variability of climate and river flow in the region of Costa das Baleias, Brazil. Water Science & Technology. v.67 n.1, p. 47-54. https://doi.org/10.2166/wst.2012.528

Genz, F.; Tanajura, C. A. S. 2013. Trends and variability of climate and river flow in the region of Costa das Baleias, Brazil. Water Science & Technology. v.67 n.1, p. 47-54. https://doi.org/10.2166/wst.2012.528

Huang, B.; Thorne, P.W.; Banzon, V.F.; Boyer, T.; Chepurin, G.; Lawrimore, J.H.; Menne, M.J.; Smith, T.M.; Vos, R.S.; Zhang, H. 2017. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons. **J. Climate**, n. 30, p. 8179–8205. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1992. Manual técnico da vegetação brasileira. Manuais Técnicos em Geociências n.1 IBGE, Rio de Janeiro.

_____. 1994. Censo Demográfico 1950/2010. Rio de Janeiro: **IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil**, vol 54.

_____.Vegetação RADAM. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/ />. Acesso em: 10 janeiro. 2019.

_____. 1994. Censo Demográfico 1950/2010. Rio de Janeiro: **IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil**, vol 54.

_____. **Censo Agropecuário 2017 - Resultados preliminares**. Disponível em: < https://cidades.ibge.gov.br> Acesso em 08/2018

_____. População no último censo: IBGE, **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: < https://cidades.ibge.gov.br> Acesso em 08/2018

INEMA. Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Mapa das RPGA's - **Banco de Dados do INEMA** (2014). Disponível em: < http://www.inema.ba.gov.br/wpcontent/files/MTematico_rpga.pdf>. Acesso em: 15/05/2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP. <** http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> Acesso em: 29/01/2019.

INPE. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. **TOPODATA**. <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso: 06/2018.

INPE. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. **TOPODATA**. <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso: 15/06/2018.

INPE. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. **TOPODATA**. <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso: 15/06/2018.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). Unidades de Conservação. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/parna-do-alto-cariri . Acesso: 15/02/2019.

Joseph.F.; Falcon, H.E.; Sharif,H.O. 2013. Hydrologic Trends and Correlations in South Texas River Basins: 1950–2009. **Journal of Hydrologic Engineering**. v. 18 n.12. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000709

Kobiyama, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: I Seminário de Hidrologia Florestal: zonas ripárias. Alfredo Wagner, 2003.

Latuf. M. O. et al. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros**. São Paulo: [s.n.], 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/307278627%0AComportamento>.

Lima, W.P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba, 2008. Disponível em: <https://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>. Acesso em: 05/2019

Lorenzon, S.; Fraga, A.S.; Moreira, A. M. R.; Uliana, M. E.; Da Silva, D. D.; Ribeiro, C.A.A.S.; Borges, A.C. 2015. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. **Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p. 195-206. https://doi.org/10.4136/1980-993X

MAPBIOMAS. Coleção versão 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 10 jan 2019 através do link:< http://mapbiomas.org >.

MAPBIOMAS. Coleção versão 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 10 jan 2019 através do link:< http://mapbiomas.org >.

Mendonça, J.R.; Carvalho, A.M.; Matos, L.A.S. (1994). 45 Anos de desmatamento no Sul da Bahia. Projeto Mata Atlântica do Nordeste. Ceplac, Ilheus-Bahia.

Miot, H.A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**. v.16, n.2. 2017. p.88-9. http://dx.doi.org/10.1590/1677-

5449.041117

Miranda, J.M.G. et al. 2010. **Balanço Hídrico para Revisão do Plano Estadual de Recursos Hídricos**: Quarto Produto - Relatório Técnico. Salvador: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA). 347 p.

Morán-Tejeda, E.; Ceballos-Barbancho, A.; Llorente-Pinto, J.M. 2010. Hydrological response of Mediterranean headwaters to climate oscillations and land-cover changes: The mountains of Duero River basin (Central Spain). **Global and Planetary Change.** v.72. p.39–49. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.03.003.

Naghettini, M.; Pinto, E. J.; Andrade. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2007. 552 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Livro-%22Hidrologia-Estatistica%22-981.html>.

Naghettini, M.; Pinto, E. J.; Andrade. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2007. 552 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Livro-%22Hidrologia-Estatistica%22-981.html>.

Nathan, R.J., Mcmahon, T.A., 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. **Water Resources**. v.26 n. 7, p. 1465–1473.

Novaes, L.F. 2005. Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu. Tese de Doutorado.

Pereira, D. R.; Almeida, A. Q.; Martinez, M. A.; Rosa, D. R. Q. 2014. Impacts of Deforestation on water balance components of a watershed on the brazilian east Coast. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 38. p.1350-1358. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000400030

Pereira, D. R.; Almeida, A. Q.; Martinez, M. A.; Rosa, D. R. Q. 2014. Impacts of deforestation on water balance components of a watershed on the brazilian east Coast. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 38. p.1350-1358. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000400030

Pfafstetter, O. 1989. Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação. Manuscrito não publicado. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS). p. 19.

PMG/SMMAT, Prefeitura Municipal de Guaratinga/Secretaria do Meio Ambiente e Turismo.**Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Guaratinga** . [S.l: s.n.], 2016.

PMG/SMMAT, Prefeitura Municipal de Guaratinga/Secretaria do Meio Ambiente e Turismo.**Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Guaratinga** . [S.l: s.n.]. , 2016.

PMPS/SMA, Prefeitura Municipal de Porto Seguro/ Secretaria Municipal de Meio Ambiente.**Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Porto Seguro – Bahia.** [S.l:s.n.]. , 2014.

PMPS/SMA, Prefeitura Municipal de Porto Seguro/ Secretaria Municipal de Meio Ambiente.**Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Porto Seguro – Bahia** . [S.l:s.n.]. , 2014.

Projeto MapBiomas. 2018. Legenda Coleção 3.0: Descrição detalhada.

Projeto MapBiomas. Coleção versão 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acesso em 10 jan 2019 através do link:< http://mapbiomas.org >.

Projeto MapBiomas. MapBiomas General "Handbook": Algorithm Theoretical Basis Document. Collection 3, Version 1.0, 2018. Acessado em 10 jan 2019 através do link:< http://mapbiomas.org/pages/methodology >.

Pruski, F.F.; Silva, D.D.; Koez, M. 2006. Estudo da Vazão em Cursos d`Água.

Engenharia na Agricultura. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 151 p.

QGIS Development Team, 2016. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://www.qgis.org/>. Acesso em: 11/2018.

Ribeiro, M.C.; Holvorcem, C.G.D.; Marques, A; Martensen, A.C.; Metzger J.P.W.; Tambosi, L. 2012. Data from: Monitoramento Independente da Cobertura Florestal das Bacias Setentrionais do Extremo Sul da Bahia. Dryad Digital Repository. https://doi.org/10.5061/dryad.p5t21.

Ribeiro, M.C.; Holvorcem, C.G.D.; Marques, A; Martensen, A.C.; Metzger J.P.W.; Tambosi, L. (2012) Data from: Monitoramento Independente da Cobertura Florestal das Bacias Setentrionais do Extremo Sul da Bahia. Dryad Digital Repository. https://doi.org/10.5061/dryad.p5t21.

Ribeiro, M.C.; Holvorcem, C.G.D.; Marques, A; Martensen, A.C.; Metzger J.P.W.; Tambosi, L. (2012) Data from: Monitoramento Independente da Cobertura Florestal das Bacias Setentrionais do Extremo Sul da Bahia. Dryad Digital Repository. https://doi.org/10.5061/dryad.p5t21.

Ribeiro, M.C.; Santos, J.S.; Ribeiro, J.W.; Marques, A.; Borges, R.; Andrade, D.; Sette, P.; Leal, S.; Waldburger, T.; Novaes, W.; Andrade, A.C. 2015. Monitoramento independente da cobertura vegetal dos municípios da área de influência da Veracel no Extremo Sul da Bahia para o ano 2013. Relatório técnico BIO/ECONAMFI/LEEC/ECONECTA.

Rocha, P. C. 2010. Indicadores de alteração hidrológica no alto rio paraná: intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 191-211. http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132010000100014

Rocha, P. C. 2010. Indicadores de alteração hidrológica no alto rio paraná: intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 191-211. http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132010000100014

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

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A. & Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, Washington, 1973. **Anais…** Whashingto,: NASA, 1974, 1: 309-317.

Santos, E.H.M ; Griebeler, N.P.; Oliveira, L.F.C. 2010. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.8, p.826–834.

Santos, L. L. Modelos Hidráulicos-Hidrológicos : Conceitos e Aplicações. **RBGF-Revista Brasileira de Geografia Física** v. 2, n. 3, p. 1–19 , 2009.

SAS Institute Inc. 2015. SAS/IML® 14.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Schussel, Z.; Nascimento Neto, P. Gestão Por Bacias Hidrográficas: Do Debate Teórico À Gestão Municipal. **Ambiente & Sociedade.** v. 18, n. 3, p. 137–152, 2015.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente da Bahia. **Guia técnico para a recuperação de vegetação em imóveis rurais no Estado da Bahia**. Salvador, 2017. 82p.

Silva, A. C. R. et al. (2018). Hidrodinâmica de um estuário tropical: rio Buranhém, Porto Seguro, Brasil. **RBRH** [online]., v.23, n. 5. http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.0318170141.

Silveira, A.L.L. (2005). Desempenho de formulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 10, pp.5-23.

SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1993. Atlas da evolução dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1985–1990. São Paulo.

SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. Atlas dos Remanescentes Florestais e Ecossistemas Associados no Domínio da Mata Atlântica. São Paulo.

SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período de 2000 a 2005.

Sousa, H. T.; Pruski, F.F.; Bof, L. H. N.; Cecon, P. R.; Sousa, J. R. C. 2009. **SisCAH 1.0**. Viçosa: Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos: GPRH.

Sousa, H. T.; Pruski, F.F.; Bof, L. H. N.; Cecon, P. R.; Sousa, J. R. C. 2009. **SisCAH 1.0**. Viçosa: Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos: GPRH.

Souza, C. M.; Roberts, D. A.; Cochrane, M. A. 2005.Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. Remote Sensing

of Environment, v. 98, n. 2–3, p. 329–343.

SRHSH. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. 1997. **Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacias Hidrográficas do Extremo Sul; Diagnóstico Regional**. [S.l:s.n.]. Salvador, Bahia: HYDROS.

Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. **Handbook of Applied Hydrology**, edited by V. T. Chow, 4-39/4-76. McGraw-Hill, New York, 196.

Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI). Perfil dos Territórios de Identidade da Bahia. Salvador, v. 1, p.233-260, 2015.

Torman, V.B.L.; Coster, R.; Riboldi, J. 2012. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Rev HCPA: Seção de Bioestatística.** v.32 n.2. p.227-244.

Tucci, C.E.M. 2005. Capítulo 7: Aspéctos práticos no uso de modelos hidrológicos. **Modelos Hidrológicos**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS. p.322-377.

Tucci, C.E.M.; Mendes, C.A. 2006. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA. 302 p.

Tucci, Carlos E. M.; Clarke, Robin T. 1997. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 2 n.1, p. 135-152.

Tucci. C.E.M. 2002. Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos. **Câmara Temática sobre Recursos Hídricos**, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. [S.l: s.n.].

Villela, S. M.; Mattos, A. 1975. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 245p.

Zhang, L.; Dawes, W. R.;. Walker, G.R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. **Water resources research**, v. 37, n. 3, p. 701-708.