



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
CENTRO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO SOCIOAMBIENTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**INFLUÊNCIA DA SILVICULTURA DE EUCALIPTO NO  
COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA VAZÃO NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PERUÍPE - BA**

Itapetinga - BA  
Abril de 2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS - PPGCA**

**Influência Da Silvicultura De Eucalipto No Comportamento  
Hidrológico Da Vazão Na Bacia Hidrográfica Do Rio Peruípe - Ba**

**Autor:** Kadu Pedro Barbosa Araújo  
**Orientadora:** Dr<sup>a</sup>. Flavia Mariani Barros

“Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento”

Itapetinga - BA  
Abril de 2019

**KADU PEDRO BARBOSA ARAÚJO**

**Influência Da Silvicultura De Eucalipto No Comportamento  
Hidrológico Da Vazão Na Bacia Hidrográfica Do Rio Peruípe - Ba**

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Aprovado em: 11 / 04 / 2019

**BANCA EXAMINADORA**

Dr<sup>a</sup>. Flávia Mariani Barros – UESB  
Orientadora

Dr. Felizerdo Adenilson Rocha – IFBA

Dr. Cristiano Tagliaferre - UESB

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Jeová Deus por me conceder essa realização, por ter me dado disposição, perseverança e sabedoria ao superar desafios e dificuldades.

A minha esposa, meu amor, Priscila, pelo companheirismo, pelas palavras de incentivo, por estar do meu lado nos momentos difíceis, por sempre acreditar em mim, por todo amor e cuidado demonstrado, partilhando das minhas preocupações e alegrias.

Aos meus pais, Valmir e Eliane, pelo suporte, incentivo, apoio, e por me proporcionar uma boa formação e uma boa educação desde criança.

Ao professor Danilo Paulúcio pela oportunidade, amizade, aprendizado, apoio, paciência, acessibilidade e ensinamentos passados durante a realização deste trabalho.

A professora Flávia Mariani pela orientação, amizade, paciência, dedicação, e acessibilidade durante todo esse período.

A professora Carolina Gusmão, pela coorientação, amizade, disponibilidade e contribuição nos momentos de dúvida.

Aos colegas de curso pela troca de conhecimentos, experiências, companheirismo e momentos de descontração.

A Capes pela concessão da bolsa de estudos.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.1. Objetivos</b> .....	12
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
<b>2.1. Gestão de Recursos Hídricos</b> .....	13
<b>2.2. Geração de escoamento e formação de vazão</b> .....	14
2.2.1. Vazões máximas, médias e mínimas .....	16
<b>2.3. Obtenção do escoamento superficial do subterrâneo</b> .....	17
<b>2.4. Influência do uso do solo na vazão</b> .....	20
<b>2.5. Aspectos da cultura do eucalipto</b> .....	22
<b>2.6. Ferramentas de Geoprocessamento aplicadas ao estudo de bacias hidrográficas</b> ...	23
2.6.1. Sistemas de Informações Geográficas .....	23
2.6.2. Sensoriamento Remoto .....	24
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	26
<b>3.1. Bacia do Rio Peruípe</b> .....	26
3.1.1. Área de estudo .....	26
3.1.2. Clima .....	27
3.1.3. Vegetação .....	27
3.1.4. Solo .....	28
3.1.5. Aspectos Morfológicos .....	29
<b>3.2. Mapeamento do uso do solo na área de estudo</b> .....	31
3.2.1. Definição da área de estudo .....	31
3.2.2. Aquisição das imagens dos satélites LANDSAT .....	32
3.2.3. Processamento das imagens .....	33
<b>3.3. Análise do comportamento hidrológico</b> .....	36
3.3.1. Seleção do período de análise .....	38
3.3.2. Análise da precipitação .....	38
3.3.3. Vazões médias, máximas e mínimas .....	39
3.3.4. Separação do escoamento superficial do subterrâneo .....	41
3.3.5. Análise de estacionariedade das variáveis hidrológicas .....	43
<b>4. RESULTADOS E DISCURSÃO</b> .....	45
<b>4.1. Mudanças no uso do solo</b> .....	45
<b>4.2. Análises das variáveis hidrológicas</b> .....	48
4.2.1. Precipitação .....	48
4.2.2. Vazão .....	50
4.2.3. Escoamento superficial e subterrâneo .....	56

<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	59
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60
<b>Anexos</b> .....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações gerais sobre as imagens dos satélites LANDSAT .....	32
Tabela 2: Ano, órbita e data de passagem das imagens LANDSAT utilizadas.....	33
Tabela 3: Qualidade da classificação associada ao índice <i>Kappa</i> .....	36
Tabela 4: Característica da estação fluviométrica de estudo .....	37
Tabela 5: Características das estações pluviométricas de estudo .....	37
Tabela 6: Área ocupada e percentual de cada classe de uso do solo na área de influência da bacia do Rio Peruípe nos anos de 1989 e 2014 .....	46
Tabela 7: Resultados do teste estatístico <i>t</i> de Student para os valores de Precipitação média anual entre os períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014 .....	49
Tabela 8: Resultados do teste estatístico <i>t</i> de Student para a vazão mínima de sete dias de duração ( <i>Q</i> <sub>7</sub> ), vazão média ( <i>Q</i> <sub>méd</sub> ) e vazão máxima ( <i>Q</i> <sub>máx</sub> ) .....	51
Tabela 9: Resultados do teste estatístico <i>t</i> de <i>Student</i> para as lâminas de escoamento superficial (LES) e subterrâneo (LESub) .....	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de aplicação dos métodos de intervalo fixo (a), do intervalo móvel (b) e do mínimo local (c). Fonte: (MIRANDA et al, 2014).....	20
Figura 2: Mapa de localização da área de estudo .....	27
Figura 3: Mapa de solos da área de estudo.....	29
Figura 4: Mapa de declividade da área de estudo.....	30
Figura 5: Mapa de altimetria da área de estudo.....	30
Figura 6: Área de influência das estações pluviométricas da área de estudo pelo método dos polígonos de Thiessen .....	39
Figura 7: Identificação do ano hidrológico na área de drenagem da estação 5551000 a partir da precipitação média mensal e vazão média mensal de longa duração .....	40
Figura 8: Tela de acesso às ferramentas do <i>software SepHidro 1.0</i> .....	41
Figura 9: Mapa de uso do solo da área de influência da bacia do Rio Peruípe do ano de 1989 .....	45
Figura 10: Mapa de uso do solo da área de influência da bacia do Rio Peruípe do ano de 2014 .....	47
Figura 11: Valores médios de Pa (Precipitação média anual), Psc (Precipitação do semestre mais chuvoso), Pss (Precipitação do semestre mais seco), Pmáx (Precipitação máxima mensal) e Pmín (Precipitação mínima mensal) para os períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014.....	49
Figura 12: Valores das vazões mínimas médias com sete dias de duração (Q7), das vazões com permanência de 90 e 95% do tempo na série (Q90 e Q95), das médias anuais de longa duração (Qméd) e das vazões anuais máximas médias (Qmáx) dos períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014 .....	50
Figura 13: Curva de permanência dos períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014 da área de estudo .....	52
Figura 14: Vazão média mensal de longa duração dos períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014 .....	54
Figura 15: Eventos de máximos de vazões para os períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014 em função dos tempos de retorno de 2 a 500 anos .....	56
Figura 16: Média dos valores das lâminas de escoamento superficial (LES), e subterrâneo (LESub) dos períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014 .....	57

## RESUMO

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar mudanças no comportamento das vazões em função da presença da cultura do eucalipto na bacia do Rio Peruípe, que possui uma grande área plantada de eucalipto. Esta avaliação foi feita em períodos anterior e posterior a implantação em larga escala da cultura do eucalipto: 1975 a 1989 e 1990 a 2014, respectivamente, na área a montante da estação fluviométrica 5551000, a única disponível no Rio Peruípe. Para o monitoramento do uso do solo foram utilizadas imagens dos satélites LANDSAT 5 – TM para o ano de 1989 e do LANDSAT 8- OLI/TIRS para o ano de 2014, sendo realizados o processamento e classificação das imagens. Para a análise do comportamento hidrológico foram utilizados os dados da estação fluviométrica 5551000 e de seis estações pluviométricas que contemplam a área de estudo, sendo obtidos valores de precipitação média e de vazões mínimas, médias e máximas. A separação do escoamento superficial do subterrâneo foi realizada através do *software SEPHIDRO 1.0*, sendo adotado o método dos Mínimos Locais. As áreas de eucalipto em 2014 aumentaram 522,15% em relação a 1989, passando a representar 30,18% do total da área de estudo. Em relação ao comportamento hidrológico foi observado que houve reduções significativas nas vazões mínima e média entre os dois períodos em consequência do aumento das áreas plantadas de eucalipto, uma vez que não houve mudanças significativas na precipitação dos dois períodos. A Q7, Q90 e Q95 no período de 1990 a 2014 sofreram redução de 30,5%, 35,57% e 27,57%, respectivamente, em relação ao período de 1975 a 1989, enquanto que a Q<sub>med</sub> reduziu 29,63%. A Q<sub>max</sub> juntamente com a lâmina de escoamento superficial, apresentaram decréscimo de 14,38% e 8,22%, respectivamente, no período de 1990 a 2014, indicando redução da probabilidade de ocorrer eventos de maiores magnitudes e minimizando o risco de enchentes. Nesse mesmo período a lâmina de escoamento subterrâneo reduziu 34,24%, provavelmente em virtude da elevada taxa de evapotranspiração do eucalipto. Diante dos resultados obtidos, houve redução da disponibilidade hídrica em razão das florestas plantadas de eucalipto na área de estudo.

**Palavras-chave:** disponibilidade hídrica, escoamento superficial, precipitação

## ABSTRACT

This study was developed with the objective of evaluating changes in flow behavior due to the presence of the eucalyptus crop in the Perúpe River basin, which has a large area planted with eucalyptus. This evaluation was carried out in periods before and after the large-scale implantation of the eucalyptus crop: 1975 to 1989 and 1990 to 2014, respectively, in the area upstream of the fluvial station 5551000, the only one available in Rio Perúpe. For the monitoring of the land use, images of the LANDSAT 5 - TM satellites were used for 1989 and LANDSAT 8 - OLI / TIRS for the year 2014, and the images were processed and classified. For the analysis of the hydrological behavior, the data of the 5551000 fluviometric station and of six pluviometric stations were used that contemplate the study area, obtaining values of average precipitation and minimum, medium and maximum flows. The separation of the surface runoff from the underground was performed using the software SEPHIDRO 1.0, and the Local Minimal method was adopted. The eucalyptus areas in 2014 increased by 522.15% compared to 1989, to represent 30.18% of the total area of study. In relation to the hydrological behavior, it was observed that there were significant reductions in the minimum and average flow rates between the two periods as a consequence of the increase of the planted eucalyptus areas, since there were no significant changes in the precipitation of the two periods. The Q7, Q90 and Q95 in the period from 1990 to 2014 decreased by 30.5%, 35.57% and 27.57%, respectively, in relation to the period from 1975 to 1989, while Q<sub>med</sub> reduced by 29.63%. The Q<sub>max</sub> along with the runoff blade showed a decrease of 14.38% and 8.22%, respectively, in the period from 1990 to 2014, indicating a reduction in the probability of occurring events of larger magnitudes and minimizing the risk of floods. During this same period, the underground runoff decreased by 34.24%, possibly due to the high evapotranspiration rate of eucalyptus. In view of the results obtained, there was a reduction in water availability due to the eucalyptus planted forests in the study area.

**Keywords:** water availability, surface runoff, precipitation

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento pela demanda de água tem se intensificado nas últimas décadas devido ao desenvolvimento econômico e aumento populacional. Sua manutenção em padrões quantitativos e qualitativos tem representado um desafio para a sociedade, visto que a falta de planejamento e gestão constituem um dos principais problemas referentes aos recursos hídricos.

Desta forma, é de grande importância que o manejo sustentável e a ordenação do emprego dos recursos hídricos se façam no contexto da bacia hidrográfica como unidade de gestão, sendo o conhecimento de suas características físicas o primeiro passo para o estudo de gerenciamento de recursos hídricos (SANTOS, 2010). Tal gerenciamento requer ainda, completa noção referente às necessidades da população, aos recursos ambientais disponíveis e ao conhecimento sobre o comportamento dos processos naturais da bacia (CARAM, 2010).

O uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas interferem significativamente no regime hidrológico, ocasionando variações expressivas tanto de vazões máximas como de vazões mínimas (ALMEIDA, 2012). Esta relação entre uso e ocupação do solo e disponibilidade hídrica é de grande importância, pois auxiliam ações dos órgãos responsáveis pela gestão de recursos hídricos (FARLEY et al., 2005).

Dentre os diversos usos e ocupação do solo, a silvicultura, sobretudo no que se refere à cultura de eucalipto, tem ganhado importância cada vez maior nos últimos anos no Brasil. Tal cultura destaca-se pelo crescimento expressivo das áreas plantadas e pelo rápido desenvolvimento, produtividade, vigor e adaptação a diferentes habitats (EMBRAPA, 2018). No ano de 2017 o Brasil possuía área plantada de 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas de eucalipto, correspondendo a cerca de 0,89% do território brasileiro (IBGE, 2017).

O setor florestal desempenha função importante na economia brasileira, contribuindo com parcela significativa na geração de produtos, tributos, empregos e renda, sendo setor estratégico no fornecimento de matéria prima para desenvolvimento da indústria de base florestal nacional (VIRGENS *et al.*, 2015). Devido a viabilidade técnica e econômica, o eucalipto tornou-se importante fonte de matéria prima e geração de renda dentro de propriedades rurais.

Segundo o IBÁ (2017) - Indústria Brasileira de Árvores, a área de florestas com eucalipto aumentou cerca de 37,49% entre os anos de 2010 e 2017, representando aumento de cerca de 4,68% ao ano. O uso atual da madeira de eucalipto oriunda de reflorestamentos tem tido boa aceitação, por apresentar grande potencial de produção em curto prazo. O setor florestal

é também responsável por cerca de 4 milhões de empregos diretos e indiretos, representando aproximadamente 4% da população brasileira economicamente ativa, e corresponde a 1,1% do PIB nacional e 6,2% do PIB industrial.

No aspecto ambiental, a ascensão do plantio de eucalipto tem contribuído para a preservação das florestas nativas, devido as imposições legais para a preservação das Áreas de Proteção Permanente – APP, e Reserva Legal – RL, além de reduzir a demanda de madeira de árvores nativas (MARCHIORI; SOBRAL, 1997). As florestas plantadas de eucalipto contribuem também para a redução da erosão do solo, e para a geração de material orgânico que melhora as condições físico-químicas do solo (EMBRAPA, 2018).

No entanto, as plantações de eucalipto são apontadas como responsáveis por alterar o regime hidrológico nas bacias hidrográficas devido ao consumo elevado da água do solo, reduzindo assim a disponibilidade hídrica. Segundo Baumhardt, (2010) existem divergências nos estudos que analisam a relação da produção de água em bacias hidrográficas com influência de silvicultura de eucalipto, sobre o seu real efeito em relação ao balanço hídrico. Neste contexto, existe uma controvérsia sobre o papel negativo do eucalipto no que diz respeito ao consumo de água nas bacias onde ele é cultivado (MOSCA, 2003).

Segundo estudos realizados por Calder (2007), foi demonstrado que a floresta foi capaz de fazer com que seus benefícios superassem os custos do maior consumo de água. Em estudos realizados por Almeida (2012) comparando a dinâmica hídrica entre microbacias com cultivo de eucalipto e com pastagem, nas microbacias com eucalipto foi comprovado o maior consumo de água em relação a pastagem, indicando menor disponibilidade hídrica nas microbacias cultivadas com florestas de eucalipto. Em contrapartida, o maior consumo de água por parte dos plantios florestais de eucalipto também interferiu nas lamina e no coeficiente de escoamento, estando associados com a cobertura florestal, a qual intercepta maior porcentagem da precipitação pluvial e promove melhorias nas características físicas dos solos, como a porosidade e as taxas de infiltração de água no solo, minimizando também o risco de enchentes.

Diante desses apontamentos, nota-se a necessidade da realização de estudos mais amplos para a avaliação da influência da implantação da cultura do eucalipto no regime de vazões de bacias hidrográficas. Nesse contexto, as ferramentas de geoprocessamento têm sido amplamente utilizadas no diagnóstico de usos e ocupação do solo fornecendo dados importantes sobre as características ambientais de determinada região (SOUZA, 2015).

A separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo possibilita a compreensão da magnitude e da dinâmica da descarga de águas subterrâneas e dos processos

de escoamento superficial direto em bacias hidrográficas, permitindo analisar a influência do cultivo de eucalipto na alteração desses processos, constituindo uma informação de grande relevância.

Diante da necessidade de melhor entendimento dos reais impactos da mudança do uso do solo no comportamento da vazão em bacias hidrográficas, é de grande importância a consideração de uma área de estudo capaz de proporcionar adequada representatividade do processo em análise. Dessa forma, tendo em vista o estudo das possíveis mudanças no comportamento de vazões em cursos d'água em função da presença da cultura do eucalipto ser o objetivo deste trabalho, foi considerada a bacia do Rio Peruípe, estando nela inseridos os municípios de Caravelas e Nova Viçosa, que estão entre os 13 municípios com maior área plantada de eucalipto do Brasil, haja vista a disponibilidade nesta bacia de dados de vazões em período anterior e posterior a implantação em larga escala da cultura do eucalipto na região.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral:**

- Avaliar a influência da cultura do eucalipto no comportamento hidrológico da vazão da Bacia hidrográfica do Rio Peruípe – BA;

### **1.1.2. Objetivos Específicos:**

- Analisar as áreas das diferentes classes de uso e cobertura do solo presentes na Bacia do Rio de Peruípe em duas épocas diferentes: antes e depois da implantação da indústria de celulose na região;
- Analisar o comportamento das vazões máximas, mínimas e médias em função da mudança do uso do solo;
- Avaliar os escoamentos superficial e subterrâneo e sua relação com a mudança do uso e ocupação do solo;

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Gestão de Recursos Hídricos**

A água um é recurso natural essencial para vida, para desenvolvimento econômico e para bem-estar da sociedade, sendo bem de consumo final ou intermediário em praticamente todas atividades humanas. Pode ser considerada como recurso passível de agregação de valor econômico, político, social e ecológico (BARBOSA, 2008). Porém este recurso natural indispensável tem se tornado cada vez menos disponível na natureza em consequência do aumento de seu consumo, e pela redução de sua oferta principalmente por conta da poluição dos mananciais e pelo seu uso indiscriminado. Além disso, agrava-se o fato da distribuição desigual, tornando o uso racional da água ainda mais importante em regiões com escassez hídrica (SANTOS, 2010).

Diante desses fatos, torna-se necessário o gerenciamento eficiente dos recursos hídricos. Sua utilização inadequada, muitas vezes pela impressão de que se trata de recurso inesgotável, aliada à falta de planejamento e gestão apropriada do uso do solo, tem causado graves problemas de danos ambientais e econômicos (LATUF, 2007).

O conhecimento do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, seus padrões de variação de vazão e suas relações com agentes econômicos e socioambientais presentes na área de contribuição da bacia, são aspectos de fundamental importância para o gerenciamento eficaz dos recursos hídricos (LATUF, 2007).

No Brasil, a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, também conhecida como Lei das Águas, instituiu a política que objetiva assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, utilizar recursos hídricos de forma racional e sustentável e protegê-los contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequados dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

Em seu artigo 1º, essa política se baseia nos fundamentos de que a água é recurso natural limitado, de domínio público, mas dotado de valor econômico. Por ser limitado prevê-se que, em casos de escassez de água no país, seu uso deve ser prioritariamente destinado ao consumo humano e animal. O artigo coloca a bacia hidrográfica como unidade territorial a ser adotada para implementação da Política Nacional de Recursos de Hídricos e conclui colocando que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada, contando com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Segundo Santos (2010) os fundamentos e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos constituem-se também em desafio de conhecimentos, além dos desafios políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais. A ANA (Agência Nacional das Águas) afirma que a implementação da política se depara com grande necessidade de conhecimento científico e tecnológico referente aos recursos hídricos, sendo consideradas atividades de desenvolvimento científico e tecnológico como instrumentos adicionais de gestão.

Marques (2006) afirma que as instituições criadas pela Lei nº 9.433 como a Agência Nacional das Águas (ANA) e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), são de suma importância, mas não suficiente para obter a sustentabilidade dos recursos hídricos. Houveram avanços na gestão integrada como a criação de Comitês de Bacias e o sistema de investimento permanente em ciência e tecnologia (CT – HIDRO), aumentando a formação de pesquisadores no setor e também o conhecimento da sociedade em relação a gestão dos recursos hídricos.

Apesar desses avanços, existem alguns desafios a serem superados. Ainda ocorrem crescentes conflitos gerados por problemas relacionados à oferta de água, devido ao planejamento inadequado, que muitas vezes traduz a inexistência de informações confiáveis e de ferramentas para avaliação e monitoramento da situação dos recursos hídricos (SANTOS, 2010). Devido a isso é de suma importância a realização de estudos que possibilitam entender as variações na vazão dos cursos d'água.

## **2.2. Geração de escoamento e formação de vazão**

O estudo de vazões é de suma importância para compreensão da formação dos cursos d'água e abastecimento do lençol freático. A vazão de um rio é resultado da interação entre precipitação e bacia hidrográfica a qual ela está inserida. Ao atingir a superfície terrestre a água da chuva pode escoar pela superfície, infiltrar no solo, ou acumular nas folhagens das plantas ou poças (MIRANDA, 2012).

A fração de água da chuva que infiltra no solo constitui a água do solo, sendo que parte dessa água retorna a atmosfera a partir do processo de evapotranspiração e outra parte pode constituir a recarga de águas subterrâneas, se a infiltração for suficiente para ultrapassar a zona radicular das plantas (MIRANDA, 2012).

A água subterrânea se move de forma lateral e lenta em direção à pontos de menor estado energético para completar o ciclo hidrológico. Mas durante esse percurso, parte dessa água ressurge em nascentes, córregos rios e lagos. Diante disso, as águas subterrâneas mantêm

o nível de poços e a continuidade da vazão dos rios, descrita como fluxo de base. Já as águas superficiais se movem de forma rápida das encostas para os rios, contribuindo para o pico de vazões (SHAXSON; BARBER, 2003; MIRANDA, 2012).

As vazões no rio incluem a contribuição do escoamento superficial direto e do escoamento subterrâneo (TUCCI, 2009). A variabilidade de fatores como precipitação, evapotranspiração da cultura, tipo de solo, topografia, uso e manejo do solo acarretam variações do comportamento das vazões em um rio (BRANDÃO *et al.*, 2006).

A evapotranspiração é influenciada tanto por parâmetros meteorológicos, como radiação, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento, quanto pelas características das culturas, como resistência à transpiração, altura de plantas, rugosidade da cultura, reflexão, cobertura do solo e enraizamento. Diante disso, o manejo da cultura (irrigação, aplicação de fertilizantes, controle de doenças e pragas) e os aspectos ambientais (permeabilidade, salinidade e fertilidade do solo, presença de reservatórios de água superficiais) influenciam na evapotranspiração. A evapotranspiração é um importante componente do ciclo hidrológico, pois é responsável pelo de retorno de grande parte do total de água precipitada para a atmosfera (PEREIRA *et al.*, 2007)

O tipo, uso e manejo do solo interferem nos escoamentos superficial direto e subterrâneo. Cada tipo de solo possui características físicas diferentes, como disposição de micro e de macroporos, definindo assim, as propriedades hidráulicas do solo, como condutividade hidráulica, capacidade de infiltração e de retenção de água na matriz do solo, e a velocidade do escoamento subterrâneo (ASBJORNSSEN *et al.*, 2011).

Solos com poros maiores, porém mais rasos, a água infiltrada atinge rapidamente a camada impermeável, movimentando-se lateralmente abastecendo o fluxo de água superficial. Em solos com menor capacidade de infiltração, aumenta a ocorrência do escoamento superficial direto. A capacidade de infiltração da água no solo está mais intimamente relacionada às condições da superfície do solo, que são influenciadas de forma expressiva pelo uso e manejo dos solos (MENDONÇA *et al.*, 2009). A maioria das atividades de uso do solo podem alterar diretamente parâmetros ambientais, incluindo o solo, a vegetação, topografia e, conseqüentemente, podem modificar o transporte de água em sistemas fluviais (SEITZ *et al.*, 2011).

### 2.2.1. Vazões máximas, médias e mínimas

A vazão máxima, também conhecida como vazão de enchente ou vazão de projeto, é conceituada como sendo a vazão associada a um risco de ser igualado ou ultrapassado a ser utilizado na previsão de enchentes e em projetos de obras hidráulicas, tais como bueiros, canais, condutos, entre outros. A vazão máxima está associada às ocorrências de chuvas intensas ou uma sequência de chuvas. A estimativa da vazão máxima torna-se importante para o controle de inundações e dimensionamento das referidas obras hidráulicas e tem importância decisiva nos custos e na segurança dos projetos de engenharia, por ser resultado de precipitações ocorridas ou com possibilidade de ocorrer (TUCCI, 2001).

A vazão média permite caracterizar a disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas e o seu potencial energético. A vazão média de longo período consiste na média das vazões médias anuais, sendo a maior vazão possível de ser regularizada no curso de água, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração (PRUSKI *et. al.*, 2006). Ela é adotada quando se deseja simular condições médias prevalentes, quer durante o ano, durante os meses chuvosos ou durante os meses secos (SOUZA, 2015).

Já as vazões mínimas se caracterizam pelos menores valores das séries anuais, representando a quantidade de água que permanece no leito do rio em épocas de estiagem ou de baixa precipitação. A quantificação da vazão mínima pode ser feita através das distribuições de probabilidade associadas a uma frequência de ocorrência, permitindo assim, a estimativa do risco de acontecer vazões menores que a vazão de demanda (GRANEMANN e MINE, 2015).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, vazão mínima é definida como a vazão que assegura a qualidade e quantidade de água, requeridas à manutenção de determinada característica de um ecossistema. De acordo com Pruski *et. al.*, (2006) as análises das vazões mínimas em períodos de estiagem são fundamentais para avaliação das disponibilidades hídricas em bacias hidrográficas e comportamento do escoamento subterrâneo, dimensionamento em projetos de abastecimento de água de cidades, irrigação, projetos agrícolas, navegação, geração de energia, engenharia hidráulica, estudos de qualidade de água e outros, sendo decisivas nos custos e segurança dos projetos de engenharia.

A vazão de referência é o estabelecimento de um valor de vazão que norteia a definição do limite superior de utilização de água em curso de água se tornando uma das principais informações à implementação de um sistema de outorga. A aplicação do critério de vazão de

referência é importante para a proteção dos rios, pois é concedida a quantidade de água a ser utilizadas dos rios a partir de uma vazão de base de pequeno risco (SOUZA, 2015).

As principais vazões de referência são a Q90, Q95 e Q7,10. A vazão Q7,10 é a vazão mínima de 7 dias de duração e com 10 anos de tempo de retorno, ou seja, assume-se um risco de pelo menos uma vez a cada dez anos ocorrer valores de vazão menores ou iguais a Q7,10 em qualquer ano. A vazão Q90 indica que as vazões serão maiores ou iguais a esta vazão durante 90% do tempo, da mesma forma, a vazão Q95 indica que as vazões serão maiores ou iguais a esta vazão durante 95% do tempo, sendo utilizadas por alguns estados brasileiros e pela Agência Nacional das Águas (ANA) para rios federais como critério para as decisões de concessão de outorga (TUCCI, 2009). A vazão de referência utilizada no estado da Bahia para a concessão de outorga é a Q90.

Desta forma, a análise das séries temporais de vazão de bacias hidrográficas, com base na compreensão dos diversos fenômenos e processos que a regem, é de suma importância para o desenvolvimento de ações de exploração e conservação dos recursos hídricos, ajudando a entender as relações de alterações de usos do solo sobre a dinâmica hídrica da bacia.

### **2.3. Obtenção do escoamento superficial do subterrâneo**

A vazão de um curso d'água é resultado dos escoamentos superficial e subterrâneo, sendo o escoamento superficial a água que escoar sobre a superfície do solo até atingir diretamente o curso d'água e o escoamento subterrâneo é a água que infiltra no solo e é disponibilizada nos cursos d'água pelo lençol freático (ALMEIDA, 2012).

A separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo é um procedimento que permite a compreensão da magnitude e da dinâmica da descarga subterrânea (BRODIE; HOSTETLER, 2005), além de ajudar no entendimento da variabilidade espacial e temporal dos processos de escoamento superficial direto em bacias hidrográficas com diferentes atuações de uso e ocupação do solo.

O escoamento superficial direto contribui para a poluição dos corpos d'água, pois além das partículas do solo, transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas. Além disso, ele pode ser considerado como um desperdício de água, visto que essa água poderia ser usada na agricultura e na recarga de aquíferos. Contudo, frequentemente, o escoamento superficial provoca inundações, danos a estradas e fazendas (SHAXSON; BARBER, 2003).

Diante disso, a utilização de tecnologias para a redução do escoamento superficial direto pode contribuir consideravelmente para a redução dos danos causados pela erosão hídrica.

Muitos são os estudos que necessitam de informações referentes a separação de escoamentos, como o dimensionamento de barragens (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983), avaliação do efeito da mudança do uso do solo (MIRANDA *et al.*, 2014) e verificação da influência das práticas conservacionistas, que permite a identificação de estratégias para controle de problemas de assoreamento de rios e lagos, enchentes, e à escassez hídricas no período de estiagem (HUANG e ZHANG, 2004).

Para a determinação da separação de escoamentos são utilizados os métodos de traçadores, os de filtros digitais de base fixa e os métodos que se baseiam em ajustes de curvas por meio da análise gráfica de hidrogramas (MIRANDA *et al.*, 2014).

No método dos traçadores são utilizadas substâncias químicas, para medições das concentrações dessas substâncias nos corpos d'água, geralmente alguns tipos de sólidos ou íons dissolvidos. Esse método é realizado para a calibração e validação dos resultados em outros métodos de separação (MIRANDA, *et al.* 2014). Como limitação a tal aplicação está a falta de praticidade e a longa duração dessa metodologia, bem como as incertezas e imprecisões quanto as concentrações finais dos traçadores, além da impossibilidade de análise de séries históricas antigas, por não possuírem dados sobre as características físico-químicas do recurso hídrico a ser estudado (HOEG, *et al.*, 2000).

O método de filtragem por base fixa contém parâmetros que são derivados do balanço de massa nas encostas da bacia hidrográfica de estudo (FUREY e GUPTA, 2001). Este método apresenta fontes possíveis de erro pela não consideração da variação temporal da umidade do solo e a falta de precisão na estimativa de alguns parâmetros de entrada do filtro. O princípio de funcionamento considera os sinais de alta frequência dos picos de hidrogramas como indicadores de escoamento superficial direto (MAU e WINTER, 1997).

Os métodos por análises gráficas focam em pontos do hidrograma com representação do escoamento subsuperficial no início e fim dos picos de vazão, sendo em sequência realizada a ligação dos pontos por meio de ajustes da curva, permitindo assim, melhor representação do escoamento para o intervalo de tempo de estudo (BRODIE e HOSTETLER, 2005). Tal método é aplicado geralmente de forma manual, podendo produzir diferentes resultados para uma mesma série de estudo devido à subjetividade envolvida no traçado de linhas de separação (MIRANDA, 2012). Contudo a utilização de *softwares* possibilita a diminuição de erros por

meio de padronização dos procedimentos, possibilitando ainda menor subjetividade e menor tempo de aplicabilidade se comparado às aplicações manuais (LIM *et al.*, 2005).

Os métodos de separação do escoamento superficial e subterrâneo por meio da análise de hidrograma, referem-se aos métodos de intervalo fixo (IF), intervalo móvel (IM) e mínimo local (ML), sendo desenvolvidos por Pettyjhon e Henning (1979) os quais baseiam-se na utilização de filtros digitais de menor complexidade de aplicação. Eles estabeleceram que o intervalo de tempo para a análise do hidrograma é proporcional ao tempo de recessão (N em dias), até que cesse a contribuição do escoamento superficial e a vazão seja mantida apenas pela componente do escoamento de base. O período de recessão é calculado pela equação 1:

$$N = 0,827 * A^{0,2} \quad (1)$$

Em que,

N é o período de recessão em dias;

A é a área de drenagem da bacia em km<sup>2</sup>.

O intervalo de tempo analisado no hidrograma é de 2N\* dias, que corresponde ao número inteiro mais próximo ao dobro de N (LINSLEY *et al.*, 1982).

No método do IF a menor vazão é selecionada dentro do intervalo fixo de 2N\*dias, sendo esta vazão adotada como a descarga do escoamento subterrâneo, e mantido constante durante todo o intervalo. No método do IM o menor valor de vazão é selecionado no intervalo 2N\*dias sendo adotado como o escoamento subterrâneo do dia D(i), correspondente ao dia do meio do intervalo. No método do ML é verificada se a vazão do dia D(i) é a menor dentro do intervalo 2N\*dias, caso atenda essa condição considera-se este dia como o mínimo local. Os procedimentos são repetidos para cada dia da série de vazão para identificação dos pontos de menores vazões referentes, sendo unidos por uma reta, representando o comportamento do escoamento subterrâneo (MIRANDA *et al.*, 2014).

Segundo estudos feitos por Miranda *et al.*, (2014), nas estimativas dos valores de escoamento superficial e subterrâneo na bacia do Rio das Velhas- MG, os métodos de separação do IF, IM e ML apresentaram resultados semelhantes entre si, fornecendo indicativos importantes para o planejamento de bacias hidrográficas.

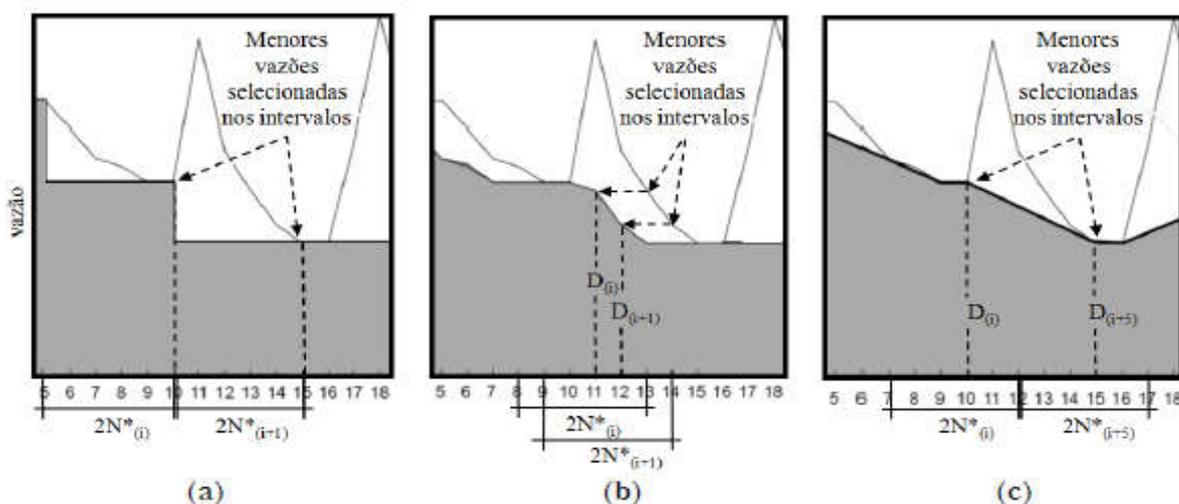


Figura 1: Exemplo de aplicação dos métodos de intervalo fixo (a), do intervalo móvel (b) e do mínimo local (c). Fonte: (MIRANDA et al, 2014)

## 2.4. Influência do uso do solo na vazão

De toda precipitação que atinge o solo, uma parcela pode escoar superficialmente ou se infiltrar, a depender da capacidade de infiltração do solo, a qual vai depender de seu uso e ocupação (TUCCI, 2002). A cobertura vegetal e os tipos de uso do solo, influenciam de maneira considerável na interceptação de água proveniente da chuva. Quanto maior a incidência de cobertura vegetal e rugosidade da superfície do solo, menor o escoamento superficial (PRUSKI *et al.*, 2003).

As ações do homem sobre o uso do solo nas últimas décadas, em decorrência do aumento populacional e dos avanços tecnológicos têm produzido impactos nos processos hidrológicos que é refletido pelo escoamento superficial, que ocasiona alterações na qualidade de água e nas vazões média, máxima e mínima de bacias hidrográficas. Segundo Tucci (2002), as alterações no uso e manejo do solo da bacia podem ser classificadas quanto ao tipo de mudança, ao tipo de uso da superfície e a forma de desmatamento.

O desmatamento tende a aumentar a vazão média devido a diminuição da evapotranspiração, aumentando as vazões máximas e diminuindo as mínimas. O reflorestamento tem tendência de recuperar as condições naturais existentes na superfície, enquanto a impermeabilização altera a capacidade de infiltração da bacia, estando associada a urbanização, aumentando os valores de vazões máximas e comprometendo a qualidade da água superficial devido o transporte de material sólido.

Os estudos sobre o comportamento hidrológico e seus regimes de variações de vazões, suas relações com os agentes socioambientais e econômicos ao longo da área de contribuição

da bacia é de suma importância para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos. É preciso realizar análises da interação entre precipitação e vazão para conhecer o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas sob suas condições naturais e após intervenção humana (CARAM, 2010). Tal análise pode ser feita estabelecendo relações quantitativas entre os processos hidrológicos e seu ciclo, podendo ser realizada através de monitoramento e modelagem numérica (OLIVEIRA NETO, 2017).

Segundo Mortatti *et al.*, (2004) as séries temporais de vazão são os resultados das integrações dos componentes do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, das influências naturais e antrópicas de uma determinada região, sendo de fundamental importância, por oferecerem subsídios para a tomada de decisões no que diz respeito à racionalização do uso da água, bem como sua preservação.

Mudanças no uso do solo, variação do clima, construção de barragens e aumento da demanda de água para irrigação são alguns dos fatores que contribuem para alterações no regime de vazão, ocasionando impactos na disponibilidade hídrica. O mau uso do solo contribui para o aumento das vazões máximas responsáveis pelas enchentes, perda de fertilidade do solo e poluição dos rios (LATUF, 2007).

O processo de interceptação é fortemente influenciado pelo tipo de cobertura do solo, uma vez que parte da água da chuva fica retida nas folhas, nos caules e nos troncos das árvores, passando a funcionar como superfícies evaporativas, permitindo o retorno da água a atmosfera pelo processo de evaporação. (LANZA 2015).

Em áreas constituídas por matas nativas, o solo permanece protegido de ações da precipitação direta devido ao aumento da interceptação pela cobertura vegetal e aumento da rugosidade da superfície do solo, tendo assim melhor capacidade de infiltração. Diante disso, eleva-se potencialmente as recargas dos aquíferos aumentando conseqüentemente as vazões mínimas e diminuindo as vazões máximas e também as médias, devido ao aumento da evapotranspiração. (SANTOS, 2010).

Em contrapartida, em áreas de pastagem e de cultivo o solo tende a ficar com superfície menos protegida e mais propenso às ações de energia cinética proveniente da precipitação, reduzindo a interceptação da água da chuva, que acarreta o aumento do escoamento superficial e redução da infiltração. Conseqüentemente, as vazões mínimas tendem a reduzir e as máximas a aumentar (OLIVEIRA NETO, 2017; LATUF, 2007).

Segundo Santos e Ferreira (2014) as análises das vazões máximas e mínimas dos cursos d'água são importantes para identificar possíveis influências ocasionadas numa bacia

hidrográfica ocasionada por mudanças do uso do solo, pois apresentam tendências de incrementos ou de redução em prazos mais ou menos longos.

## **2.5. Aspectos da cultura do eucalipto**

O eucalipto é uma árvore do gênero *Eucalyptus*, pertencente à família *Myrtaceae* e possui seu centro de origem na Austrália e em regiões próximas. Desenvolve-se de forma satisfatória em diferentes ambientes, inclusive distante das suas regiões de origem. Atualmente existem mais de 700 espécies de eucalipto no mundo que são usadas em diversas finalidades devido as distinções de suas características físicas e químicas (EMBRAPA, 2018).

No Brasil, teve seu plantio intensificado a partir do início do século 20, sendo utilizado para suprir a demanda de lenha para locomotivas. Ao longo dos anos, seu plantio foi incentivado para suprir também a demanda de dormentes nas ferrovias. Sua produção foi intensificada a partir de 1960, quando o governo concedeu incentivos fiscais ao reflorestamento, especialmente para grandes indústrias siderúrgicas de papel e celulose (HASSE, 2006).

Na Bahia, especialmente no extremo sul do estado, os plantios mais intensos de eucalipto se deu em meados da década de 80, com a chegada das primeiras empresas de papel e celulose. Condições edafoclimáticas, grandes extensões de terras com custos mais baixos, foram os fatores principais para a expansão da silvicultura de eucalipto no extremo sul da Bahia, que atualmente é uma das regiões mais importante do país para essa atividade. (ALMEIDA 2009).

O eucalipto apresenta diversas vantagens como a adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, elevada produção e fácil propagação vegetativa, além da ampla aceitação do mercado consumidor (FREITAG, 2007).

No ano de 2016, o Brasil apresentou uma área plantada de eucalipto de 7,84 milhões de hectares. Segundo o IBÁ (2017) a expectativa é duplicar a esse número em 2020 atingindo mais de 14 milhões de hectares plantados. A expansão de suas florestas está relacionada com seu rápido crescimento, capacidade de adaptação a diversos ecossistemas e pelo seu elevado potencial econômico, principalmente pelas características de sua madeira (SERPA *et al.*, 2003). A elevada produtividade de madeira com ciclos de corte de aproximadamente sete anos, menores custos e maiores taxas de retorno de investimento, são fatores decisivos no aumento do investimento das plantações de eucalipto no Brasil (IBÁ, 2017). O seu uso tem destaque para produção de papel e celulose, lenhas, estacas, carvão vegetal, fabricação de móveis, dentre outras aplicações (SANTAROSA, 2014).

O cultivo de eucalipto apresenta maior disponibilidade de indicações e orientações técnicas dentre as florestas plantadas. Porém, não possuem sistemas de produção fixos, com especificidades de manejo para cada local de atuação, sendo os tratamentos variáveis de acordo com o objetivo de produção e qualidade do local no que diz respeito às condições de solo e clima, material genético, densidade e espaçamento (SANTAROSA, 2014).

Uma das críticas mais comuns em relação ao eucalipto, diz respeito ao consumo e eficiência do uso de água pela espécie e os possíveis impactos que esta poderia causar na umidade do solo, rios e lençóis freáticos. Muitos autores indicam o comprometimento da disponibilidade hídrica em resposta à elevada taxa de evapotranspiração apresentada pelas florestas de eucalipto (VON STACKELBERG *et al.*, 2007, NOSETTO *et al.*, 2011).

## **2.6. Ferramentas de Geoprocessamento aplicadas ao estudo de bacias hidrográficas**

### **2.6.1. Sistemas de Informações Geográficas**

Diante da necessidade de analisar a dinâmica da sociedade no espaço geográfico e das ações antrópicas sobre o meio ambiente, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido cada vez mais utilizados para auxiliar tais estudos, pois permitem formulações de diagnósticos, prognósticos, avaliação de opções de ações de manejos ambientais por propiciar maior frequência na atualização de dados, na agilidade do processamento e também por ser viável economicamente (VAEZA *et al.*, 2010). Dessa forma, o SIG consiste em um amplo conjunto de ferramentas de auxílio em análises espaciais, o que torna possível avaliar cenários geográficos com rapidez, ajudando em tomadas de decisões de maneira ágil (CAMPOS *et al.*, 2010).

O SIG pode ser definido como sistemas computacionais capazes de capturar armazenar, consultar, manipular, analisar e imprimir dados referenciados espacialmente em relação a superfície da Terra, sendo de grande ajuda nos estudos de monitoramento ambiental e no planejamento de cidades (FLORENZANO, 2007).

Esses sistemas têm sido muito utilizados na gestão de bacias hidrográficas devido a sua flexibilidade e disponibilidade, consistindo de sistemas computadorizados que permitem sobrepor diversas informações espaciais da bacia. Essa informação é armazenada digitalmente

e apresentada visual ou graficamente, permitindo a comparação e a correlação entre informações (SCHIAVETTI E CAMARGO, 2002).

A utilização do SIG para gerenciamento de bacias hidrográficas envolve a elaboração e manutenção de um banco de dados geocodificados de onde são retiradas diversas informações estatísticas sobre características da unidade de estudo como os tipos de solos, usos da terra, hidrologia e vegetação. Os métodos associados aos SIGs oferecem ainda a possibilidade de executar modelagem para prever padrões espaciais de processos ecológicos, com relação a possíveis cenários decorrentes do tipo de uso e ocupação dos recursos naturais, possibilitando auxílio nas tomadas de decisões para definição de diretrizes a respeito de usos do solo em bacias hidrográficas (SCHIAVETTI E CAMARGO, 2002).

A elaboração de mapas temáticos por meio do SIG é muito utilizada em virtude dos problemas decorrentes nas bacias hidrográficas pelo descumprimento da legislação ambiental. Esse método objetiva representar dados relacionados com a área de interesse, para que a visualização da bacia fique clara no contexto da percepção ambiental e conseqüentemente no seu manejo (BERTAZI *et al.*, 2011).

O SIG integra as técnicas de sensoriamento remoto e fornece as informações sobre a superfície da Terra, contribuindo para o monitoramento de áreas em diferentes escalas de mapeamento, tanto em nível local, como regional e global, e tem apresentando constante evolução em sua utilização no decorrer dos anos (SOUZA 2015).

### 2.6.2. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto juntamente com o SIG são ferramentas que contribuem para minimizar os problemas oriundos da baixa disponibilidade de informações de campo, devido sua utilidade para diagnóstico e monitoramento de grandes extensões de áreas (FERNANDEZ *et al.*, 2012). Devido a característica de repetitividade de aquisições de imagem, também são indispensáveis em estudos de mudanças das características ambientais, já que as informações podem ser atualizadas (CAMPOS *et al.*, 2010).

O sensoriamento remoto constitui técnica de grande relevância, pois permite, a obtenção de grande quantidade de informações a respeito de registros de uso do solo em curto espaço de tempo. As técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo cada vez mais utilizadas por diversos setores da sociedade como institutos de pesquisas, universidades e empresas públicas e privadas. Sua aplicação sistemática permite o estudo da evolução ambiental da região desde

o início da intensificação dos processos antrópicos por meio de análises multitemporais (LATUF, 2007).

Segundo Vaeza *et al.* (2010), as técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento se tornaram ferramentas indispensáveis no monitoramento da dinâmica de uso e ocupação das terras, pelo fato de propiciar maior frequência na atualização de dados, agilidade no processamento e viabilidade econômica. Desta forma, geração e tratamento de informações referentes ao espaço por meio de técnicas de sensoriamento remoto é imprescindível para otimização de tempo e redução de custos em campo.

Os dados de sensoriamento remoto também têm sido muito utilizados na descrição quantitativa de bacias hidrográficas e redes de drenagem. Estudos morfométricos que antes eram realizados a partir da extração de dados de cartas topográficas, atualmente são feitos com dados de sensoriamento remoto (VASCONCELOS e FILHO, 2010).

Vários trabalhos demonstram a importância de estudos realizados em bacias hidrográficas baseados em dados de sensoriamento remoto, como suporte a diagnósticos físicos territoriais para fins de planejamento e de gestão destas áreas, bem como para entender os processos e mudanças significativas ocorridas no ambiente (LATUF, 2007; SANTOS, 2010; MIRANDA, 2012; SOUZA, 2015).

Dentre satélites para imageamento terrestre de recursos naturais mais utilizados, destaca-se o sensor do Landsat TM (*Thematic Mapper*), em uso desde o ano de 1982 e possui ampla discussão quanto às técnicas de manipulação de suas imagens e padrões de correções. Suas imagens geradas são de grande importância para análises de padrões de ocupação das terras, de expansão de áreas urbanas e de monitoramento de desmatamentos, sendo assim de grande importância para o gerenciamento de bacias hidrográficas. (SANTOS, 2010). Em 2013 entrou em operação o Landsat 8 com os sensores OLI (*Operational Terra Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) (TIRS), que proporcionam um melhor desempenho radiométrico, possibilitando uma maior caracterização de alvos de imagem (USGS, 2018).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Bacia do Rio Peruípe

##### 3.1.1. Área de estudo

A bacia do Rio Peruípe (otocodificação 77952), está localizada entre os paralelos 17° 22' 15,507" e 17° 55' 59,12" S e os meridianos 39° 10' 38,385" e 40° 31' 6,145 W, inserida no extremo sul do estado Bahia (Figura 2). Limita-se ao norte pela bacia do Rio Itanhém, ao sul e oeste pela bacia do Rio Mucuri e a leste pelo oceano Atlântico. Ocupa uma área de 4.632 km<sup>2</sup> e abrange um perímetro de 464,15 km (SOUZA *et al.*,2013).

O curso fluvial principal, denominado Rio Peruípe é formado após a confluência dos Rios Peruípe Norte e Peruípe Sul, e possui extensão de aproximadamente 80 km (SOUZA *et al.*,2013).

A bacia do Rio Peruípe abrange os municípios de Caravelas, Ibirapuã, Lajedão, Nova Viçosa e Teixeira de Freitas, possuindo grande abrangência na silvicultura de eucalipto, sendo o município de Caravelas o 8° maior do Brasil em área plantada de eucalipto com aproximadamente 732,96 km<sup>2</sup>, e o município de Nova Viçosa o 13° maior, com área plantada de aproximadamente 531, 08 km<sup>2</sup> (IBGE, 2017).

A área de estudo está situada a montante da estação fluviométrica Helvécia, código 5551000, abrangendo uma área de 2.960 km<sup>2</sup>, que corresponde a 63,9% do total da bacia do Rio Peruípe.

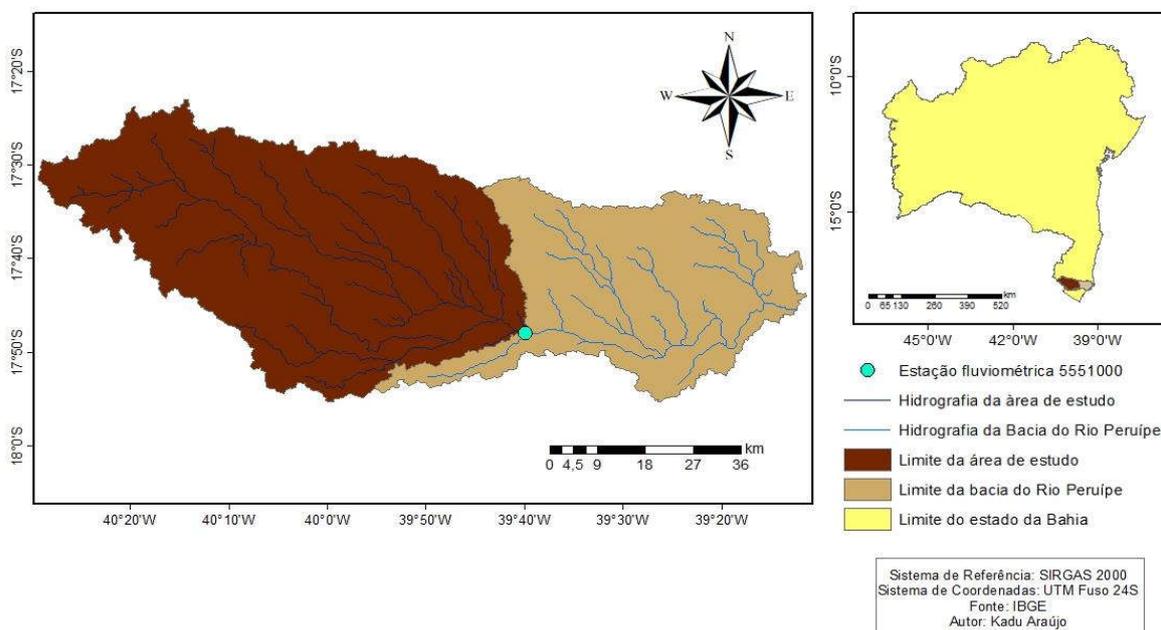


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo

### 3.1.2. Clima

Segundo a classificação de Köppen o tipo climático predominante na área da bacia do Rio Peruípe é o Clima tropical úmido, com precipitação média anual de 1096,88 mm e temperatura média anual de 24,4 °C, justificada pelo fato desta região estar inserida na faixa zonal de baixa latitude, reforçado pelos fatores de maritimidade, altitude e, conseqüentemente, inexpressiva amplitude térmica na anual. (SOUZA *et al.*,2013).

### 3.1.3. Vegetação

Na área que abrange a bacia do Rio Peruípe, a Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) ocupa os tabuleiros costeiros e as porções mais úmidas das serras próximas ao litoral. Essa formação conglomera um diversificado mosaico de ecossistemas florestais com estruturas e composições florísticas bastante individualizadas, tendo como elemento comum a exposição aos ventos úmidos oceânicos. Segundo Dominguez (2008), esta cobertura vegetal está praticamente ausente, restando apenas alguns remanescentes nas vertentes dos vales encaixados da Formação Barreiras. Tal conjuntura se faz principalmente em razão da introdução de áreas de pastagens, silvicultura (sobretudo eucalipto), e lavouras de ciclos curtos.

As áreas de influência marinha compreendem os espaços cujo substrato arenoso é coberto por vegetação do tipo mata de restinga, enquanto as áreas de influência fluvial, sujeitas às inundações cíclicas ao longo dos rios são recobertas por formações herbáceo-graminóides. Já as áreas de influência fluvio-marinha são caracterizadas pelas oscilações das marés e substrato argiloso, no qual se desenvolvem a vegetação que compõe os manguezais. Embora tenham sido pontualmente alteradas, tais formações encontram-se bem conservadas (DOMINGUEZ, 2008).

#### 3.1.4. Solo

A formação dos solos na bacia do Rio Peruípe está diretamente associada aos diferentes aspectos geológico-geomorfológicos presentes. Assim, nos sedimentos que compõem os tabuleiros costeiros, instalam-se processos pedogenéticos que deram origem aos Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos, Latossolos Amarelos, Vertissolos, dentre outros. Nas planícies fluviais e fluvio-marinhas, instalam-se processos que originam os Espodossolos Hidromórficos, Gleissolos Háplicos e Organossolos Háplicos. Por fim, nos sedimentos que compõem os cordões litorâneos implantam-se os Neossolos Quartzarênicos (ANDRADE, 1994). Na área de estudo, a maior predominância é de Argissolo Amarelo (Figura 3).

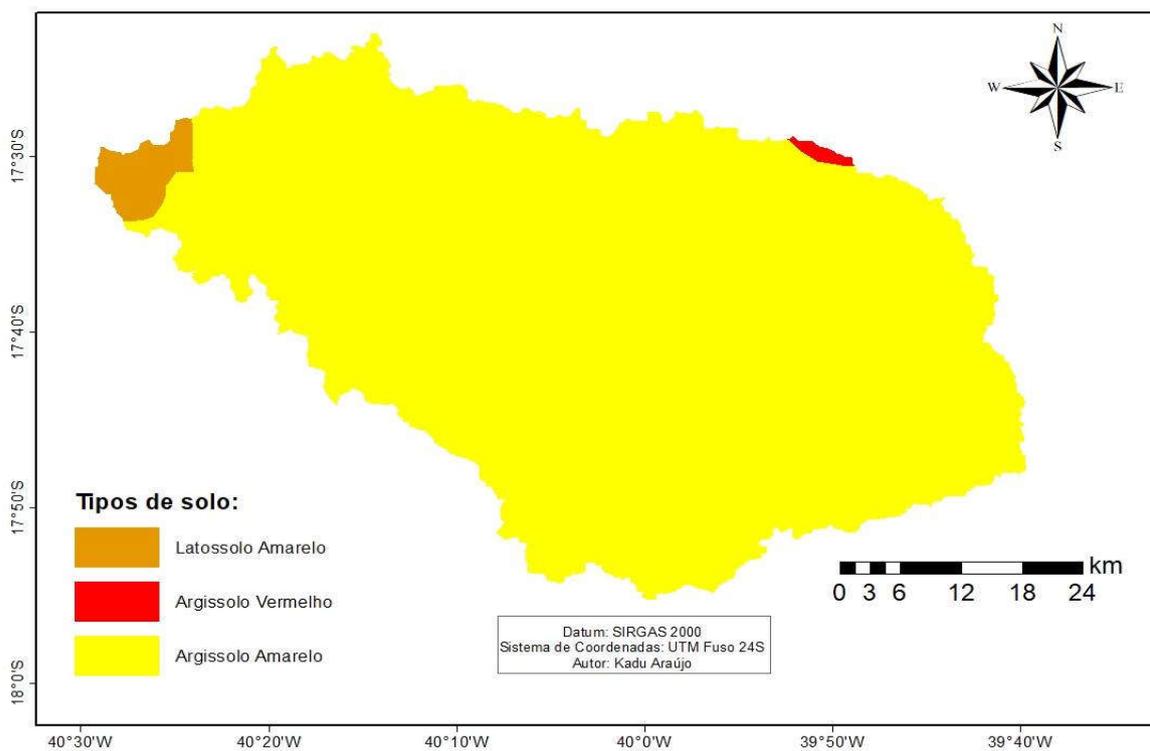


Figura 3: Mapa de solos da área de estudo

### 3.1.5. Aspectos Morfológicos

Na área de estudo da bacia do Rio Peruípe há predominância de relevo plano suavemente ondulado (Figura 4), conforme classificação proposta pela Embrapa (2012). A altitude da área varia de 0 a 460 metros, sendo que mais da metade não ultrapassa os 160 metros (Figura 5).

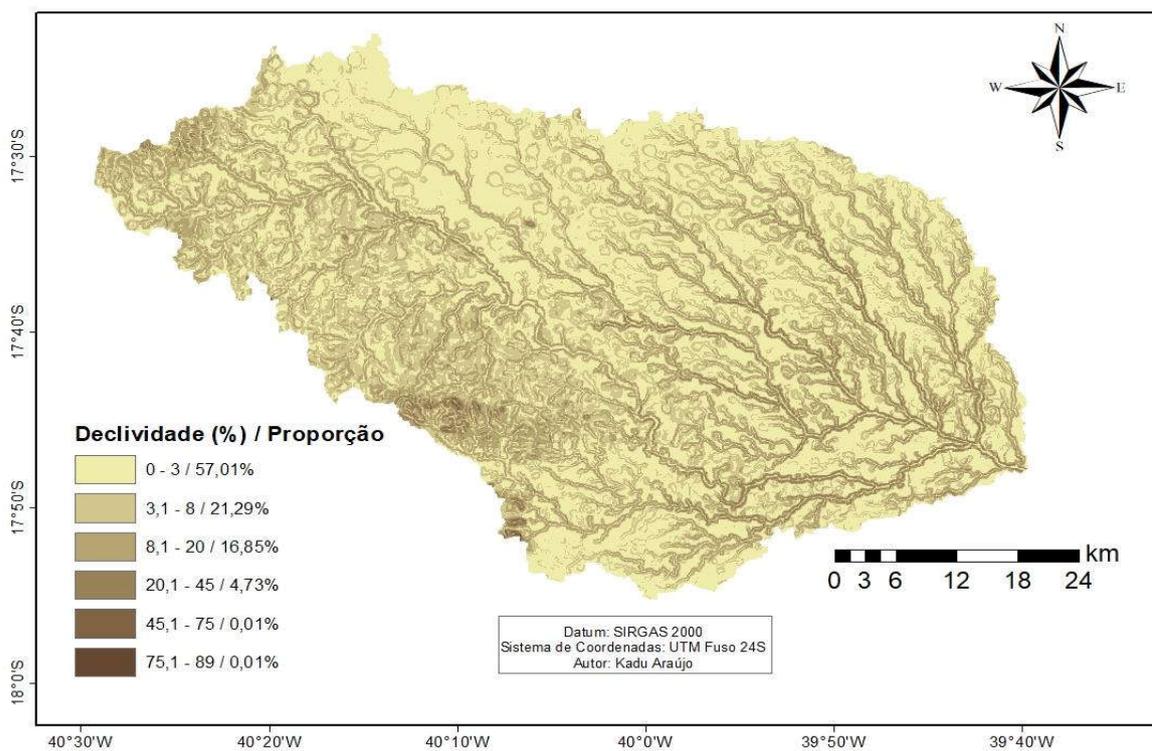


Figura 4: Mapa de declividade da área de estudo

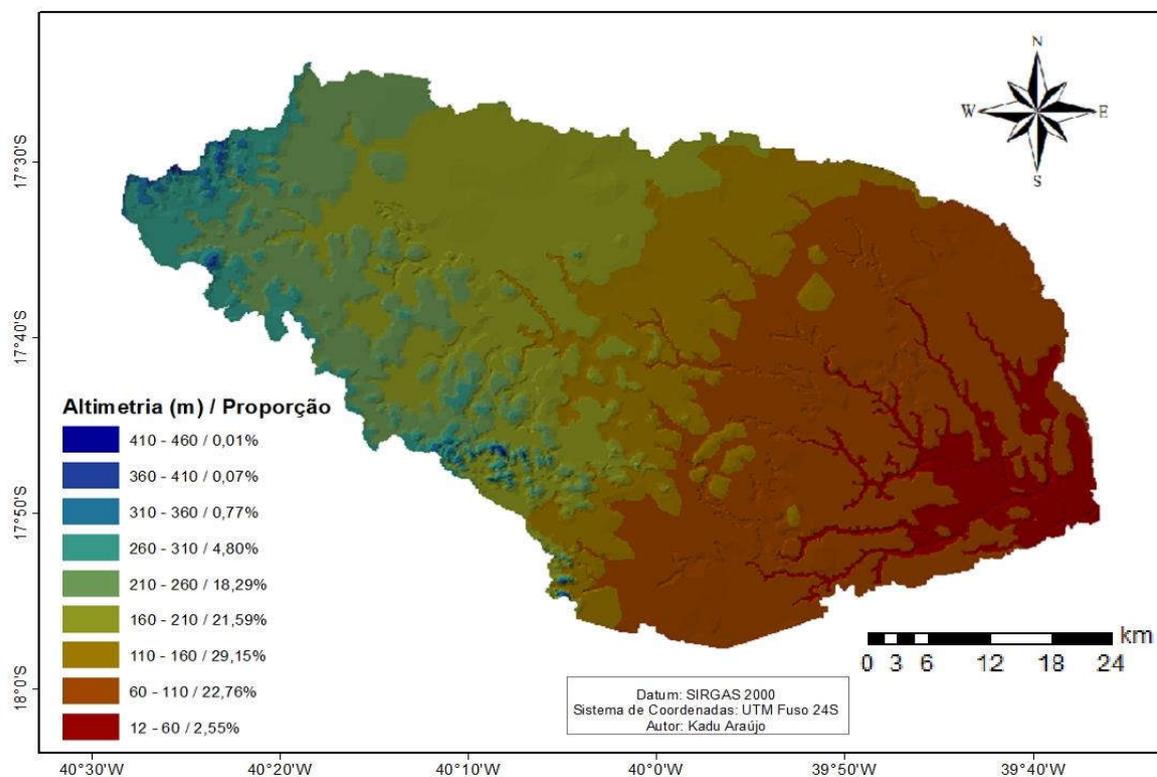


Figura 5: Mapa de altimetria da área de estudo

## 3.2. Mapeamento do uso do solo na área de estudo

### 3.1.1. Definição da área de estudo

A definição da área de estudo ocorreu em virtude da única estação fluviométrica (5551000) presente na bacia. Portanto, foi considerado para análise neste trabalho a área de drenagem à montante da referida estação.

A análise temporal do uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Peruípe foi realizada a partir da quantificação das áreas das classes de uso do solo em dois períodos: 1975 a 1989 e 1990 a 2014. As escolhas dos períodos ocorreram em virtude da representatividade destes em relação ao comportamento em análise neste trabalho, que é o aumento das áreas utilizadas para cultivo do eucalipto e sua relação com a vazão. O período de 1975 a 1989 caracteriza-se como época anterior ao cultivo em larga escala do eucalipto na região, com área pequena dessa cultura. O período de 1990 a 2014 representa a época em que maiores áreas destinadas ao cultivo de eucalipto são evidenciadas, sendo o início desse período correspondente à época de instalação da empresa de celulose Bahia Sul Celulose S.A., que foi inaugurada no ano de 1992.

O mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia do Rio Peruípe foi realizado para os anos de 1989 e 2014, sendo que para o ano de 1989, foram utilizadas cenas orbitais do satélite LANDSAT 5 - TM e para o ano de 2014 foram utilizadas cenas do satélite LANDSAT 8 - OLI/TIRS.

### 3.2.1. Delimitação da área de estudo

Para a extração da área de interesse da bacia do Rio Peruípe, tendo como ponto de referência a estação fluviométrica 5551000, foram utilizados os dados altimétricos obtidos através do Modelo Digital de Elevação (MDE) da base de dados SRTM (*Missão Topográfica Radar Shuttle*) (USGS, 2018). Para que o MDE representasse de forma ideal os processos do escoamento superficial foi realizada a remoção de imperfeições e depressões espúrias, bem como a criação da direção do fluxo de água e a acumulação desse fluxo. Todas as etapas foram realizadas no *software* de ArcGIS 10.5, com auxílio da extensão *Spatial Analyst*.

### 3.2.2. Aquisição das imagens dos satélites LANDSAT

As imagens dos satélites LANDSAT 5 – TM para o ano de 1989 e do LANDSAT 8 – OLI/TIRS para o ano 2014, foram adquiridas junto ao portal *U. S. Geological Survey* (USGS, 2018). Nas Tabelas 1 e 2 estão contidas informações específicas sobre as imagens adquiridas para o estudo.

Tabela 1: Informações gerais sobre as imagens dos satélites LANDSAT

Características	Especificidade LANDSAT 5	Especificidade LANDSAT 8
Resolução espacial	30 m (120 m infravermelho termal)	30 m (100 m infravermelho termal e 15 m pancromático)
Resolução radiométrica	8 bits	16 bits
Resolução espectral	7 bandas	11 bandas
Área imageada	185 km	185 km
Formato	Geotiff	Geotiff
Datum horizontal	WGS84	WGS84
Projeção	UTM (ZONA 24S)	UTM (ZONA 24S)
Nível de correção	1G (Radiométrica e geométrica)	1G (Radiométrica e geométrica)

Fonte: NASA (2018)

Tabela 2: Ano, orbita e data de passagem das imagens LANDSAT utilizadas

Ano	Orbita	Data de passagem
1989	215/72	23/02/1989
	216/72	05/05/1989
2014	215/72	03/05/2014
	216/72	24/04/2014

Fonte: INPE (2018), USGS (2018)

### 3.2.3. Processamento das imagens

O processamento digital das imagens para a elaboração dos mapas de uso do solo foi realizado por meio do *software ArcGIS 10.5*. Inicialmente foi realizada a conversão de Números Digitais (ND) para radiância espectral no topo da atmosfera com base na seguinte equação:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Em que,

$L_{\lambda}$ : Radiância espectral no topo da atmosfera ( $W/m^2 \text{srad}\mu m$ );

$M_L$ : Fator multiplicativo reescalado da radiância para a banda específica, onde  $x$  é número da banda;

$Q_{cal}$ : Número Digital (ND) do pixel;

$A_L$ : Fator aditivo reescalado da radiância para a banda específica;

Em seguida foi realizada a conversão das imagens em Número Digitais (ND) para reflectância planetária conforme a seguinte equação:

$$\rho_{\lambda'} = M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho} \quad (3)$$

Em que,

$\rho_{\lambda'}$ : Reflectância planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar;

$M_{\rho}$ : Fator multiplicativo reescalado da reflectância para a banda específica;

$A_p$ : Fator aditivo reescalado da reflectância para a banda específica;

A reflectância planetária corrigida foi obtida pela seguinte equação:

$$\rho_Y = \frac{\rho_{Y'}}{\text{sen } \theta_{SE}} = \frac{\rho_{Y'}}{\text{cos } \theta_{SZ}} \quad (4)$$

Em que,

$\rho_Y$ : Reflectância planetária corrigida no topo da atmosfera;

$\rho_{Y'}$ : Reflectância planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar;

$\theta_{SE}$ : Ângulo de elevação solar local;

$\theta_{SZ}$ : Ângulo solar zenital local ( $\theta_{SZ} = 90 - \theta_{SE}$ );

Todos os dados necessários para os cálculos das equações citadas, foram obtidos a partir dos metadados disponíveis referentes às imagens.

Foi realizada a reprojeção das imagens para o datum Sirgas 2000 e sistema de projeção geográfica UTM Zona 24. Concluída a etapa de conversão das imagens, foi realizado o mosaico das imagens e a composição das bandas.

### 3.2.4. Classificação das imagens

Foram definidas sete classes para as classificações, de acordo com as suas características espectrais, sendo elas:

- Eucalipto: Áreas com plantação de eucaliptos;
- Pastagem: Áreas destinadas ao pastoreio de gado. Nessas áreas o solo está coberto por vegetação de gramíneas ou leguminosas, com altura variando entre alguns decímetros e alguns metros;
- Mata nativa: Florestas densas, abertas e estacionais;
- Solo exposto: Áreas referentes tanto a ambientes naturais como áreas sem cobertura vegetal ou cobertas por rocha nua exposta, quanto a ambientes antrópicos, decorrentes da degradação provocada pelas atividades humanas, como extração de minerais.

- Corpos d'água: Represas, lagoas costeiras, rios, estuários e baías;
- Outros usos: Classe composta por áreas urbanas e outros cultivos agrícolas;

Foi adotada a metodologia de classificação automática supervisionada, com o uso do algoritmo da máxima verossimilhança através do *software ArcGIS 10.5*. Vários autores avaliaram esse algoritmo como uma boa opção para estudos de ocupação do solo e perda de cobertura vegetal (JENSEN, 2009; HEINL et al., 2009; DEMARCHI, et al., 2011).

Foram coletadas amostras de cada classe e gerada assinatura espectral das amostras. Após esta etapa, foi realizada a classificação. Em seguida foi realizado o refinamento da classificação por realce de filtragem, para a remoção de ruídos e regiões isoladas, melhorando assim o resultado final da classificação, proporcionando melhor aspecto visual. Após a classificação foi realizada reclassificação por meio da edição manual das classes com auxílio das imagens do *Google Earth*, visando corrigir eventuais falhas da classificação automática de uso e cobertura do solo.

Foi observado que para o ano de 2014 parte das áreas destinadas ao cultivo de eucalipto foram classificadas como solo exposto. Devido à grande rotatividade da cultura de eucalipto, após o corte e o replantio, o solo fica sem cobertura vegetal, sendo classificado como solo exposto. Para a melhor quantificação dessas áreas empregadas para o cultivo de eucalipto foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8 – OLI/TIRS, do ano de 2016, com as órbitas 215/72 e 216/72 e datas de passagem em 27/07/2016 e 31/05/2016 respectivamente.

Foi realizada a classificação da imagem do ano de 2016 utilizando os mesmos procedimentos citados para as imagens dos anos de 1989 e 2014. Em seguida, foi feita a comparação da classificação das duas imagens. Com o auxílio da ferramenta *calculadora raster* do *ArcGIS 10.5*, foi gerada uma nova classificação onde a quantificação das áreas de eucalipto e de solo exposto foi ajustada. Se as áreas de solo exposto foram iguais nos períodos de 2014 e 2016, tais áreas permaneceram classificadas como solo exposto. Se as áreas de solo exposto de 2014 estiverem classificadas como eucalipto ou eucalipto novo para o ano de 2016, então essas áreas de solo exposto de 2014 retornaram como áreas de eucalipto.

### 3.2.5. Avaliação da classificação automática

Para a verificação da exatidão dos mapas de uso e cobertura do solo resultantes de classificação de imagens de satélite foi verificada a acurácia da classificação, sendo expressa

como a probabilidade de uma certa classe estar correta em relação a realidade (MACHADO, 2002).

Com o auxílio do *software* ENVI 4.1, foi gerada a matriz de confusão, que representa a qualidade obtida de uma classificação digital de imagem, sendo expressa por meio da correlação de informações dos dados das amostras compreendido como verdadeiro, com os dados classificados.

A exatidão dos mapas temáticos gerados a partir da classificação das imagens foi realizada através da estatística *Kappa* (PERROCA e GAIDZINSKI, 2003), que é um dos métodos mais utilizados para avaliar o grau de concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático, gerando assim, um aspecto de confiabilidade e exatidão dos dados classificados. A definição da exatidão dos mapeamentos foi realizada de acordo com a Tabela 3, onde o resultado obtido pelo coeficiente *Kappa* varia no intervalo de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor a qualidade dos dados classificados.

Tabela 3: Qualidade da classificação associada ao índice *Kappa*

Índice <i>Kaapa</i>	Qualidade da classificação
$<0$	Péssima
$0,00 < k \leq 0,20$	Ruim
$0,20 < k \leq 0,40$	Razoável
$0,40 < k \leq 0,60$	Boa
$0,60 < k \leq 0,80$	Muito Boa
$0,80 < k \leq 1,00$	Excelente

Fonte: FONSECA (2000)

O índice *Kappa*, bem como a acurácia global da classificação, foram calculados automaticamente no *software* ENVI 4.1, sendo selecionadas 330 amostras aleatórias em toda imagem.

### 3.3. Análise do comportamento hidrológico

Para a realização do estudo foram analisados dados da estação fluviométrica de 5551000, com área de drenagem de 2960 km<sup>2</sup>, representando 63,9% da área de drenagem da

bacia do Rio Peruípe (Tabela 4), e de seis estações pluviométricas pertencentes a rede hidrometeorológica da ANA (Tabela 5).

Tabela 4: Característica da estação fluviométrica de estudo

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>
5551000	HELVÉCIA	17°47'57,12''	39°39'50,04''	2960	Rio Peruípe

Fonte: ANA (2018)

Tabela 5: Características das estações pluviométricas de estudo

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>
1739006	HELVÉCIA (EFBM)	17° 48' 29,16"	39° 39' 45,00"	59
1739020	FAZENDA CASCATA	17° 30' 37,08"	39° 38' 27,96"	Não registrado
1740001	NANUQUE - MONTANTE	17° 50' 15,00"	40° 22' 37,92"	92
1740005	MEDEIROS NETO	17° 22' 19,92"	40° 13' 32,88"	Não registrado
1740026	SÃO PEDRO DO PAMPÃ	17° 19' 13,08"	40° 40' 33,96"	192
1839015	SÃO MATEUS	18° 7' 0,12"	39° 51' 0,00"	25

Fonte: ANA (2018)

### 3.3.1. Seleção do período de análise

A base de dados fluviométricos e pluviométricos das estações pertencentes à bacia do Rio Peruípe foi obtida através do site *HidroWeb* da Agência Nacional de Águas (ANA 2018). Os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas para análise da existência de dados discrepantes, existência de erros sistemáticos ou ausência de dados. Não foi necessário a realização de preenchimento de falhas.

Para análise de consistência da série de vazão, foi realizada análise exploratória dos dados disponíveis com auxílio do *software Hidro* 1.3, disponibilizado pela Agência nacional das Águas.

### 3.3.2. Análise da precipitação

Para análise da precipitação foi utilizada a precipitação média anual ( $P_a$ ), a precipitação do semestre mais chuvoso ( $P_{sc}$ ), a precipitação do semestre mais seco ( $P_{ss}$ ), a precipitação máxima mensal ( $P_{máx}$ ) e a precipitação mínima mensal ( $P_{mín}$ ) nos períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014.

A precipitação média da bacia foi obtida através do método dos polígonos de Thiessen, que foram gerados de acordo com as estações pluviométricas que dispunham de dados de precipitação em cada ano. As malhas dos polígonos de Thiessen das estações pluviométricas (Figura 6) e as áreas de cada polígono foram obtidas com o auxílio do *software ArcGIS* 10.5.

A precipitação anual de cada área foi calculada pelo método da média ponderada utilizando as áreas de influência das estações, representadas pelos polígonos de Thiessen, sendo calculada pela seguinte equação:

$$P_t = \sum_{i=1}^{ud} \left( \frac{\sum_{n=1}^p A_n P_n}{\sum_{n=1}^p A_n} \right) \quad (5)$$

Em que,

$P_t$  = Precipitação anual na área, mm;

$P_n$  = Precipitação registrada em cada estação, mm;

$A_n$  = Área de influência de cada estação pluviométrica, km<sup>2</sup>;

$p$  = Número de estações pluviométricas;

ud = Último dia do ano hidrológico considerado para a obtenção de Pt;

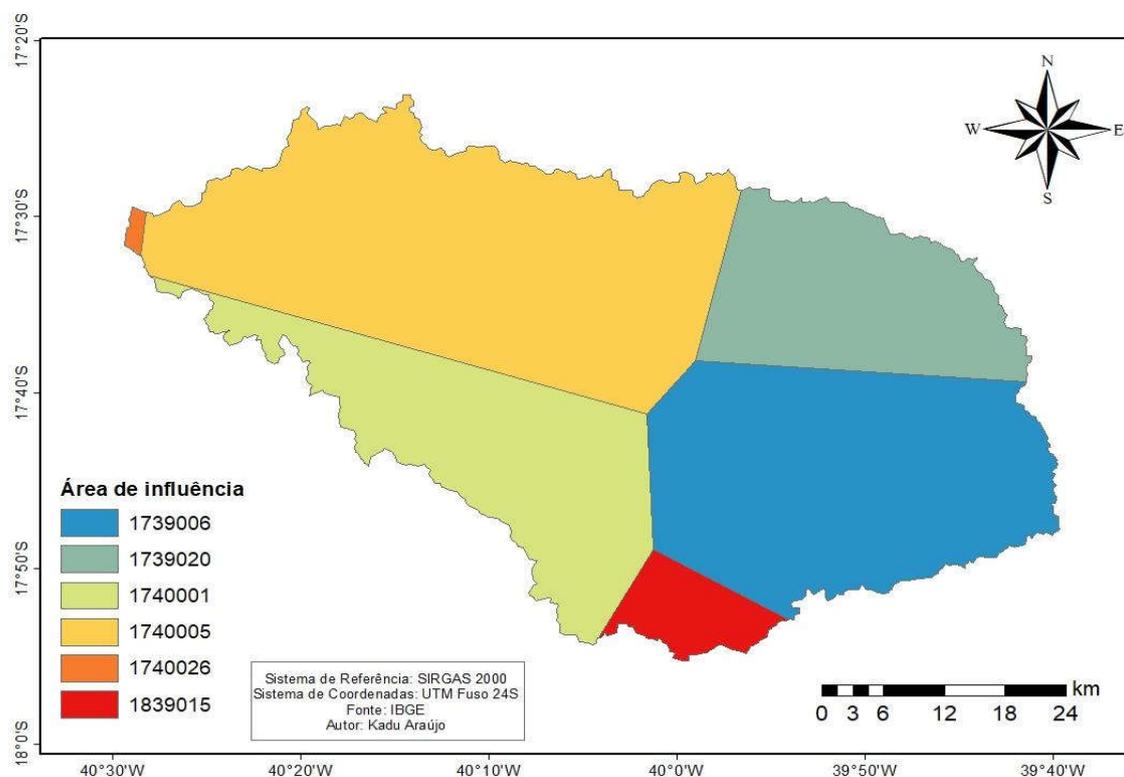


Figura 6: Área de influência das estações pluviométricas da área de estudo pelo método dos polígonos de Thiessen

### 3.3.3. Vazões médias, máximas e mínimas

Para a análise das vazões foi determinado nesse estudo o ano hidrológico, que consiste na divisão em períodos chuvosos e períodos mais secos. Considerando que o início das chuvas ocorre no mês de outubro na região de estudo (Figura 7), o ano hidrológico para a área de estudo teve início no mês de outubro e fim no mês de setembro.

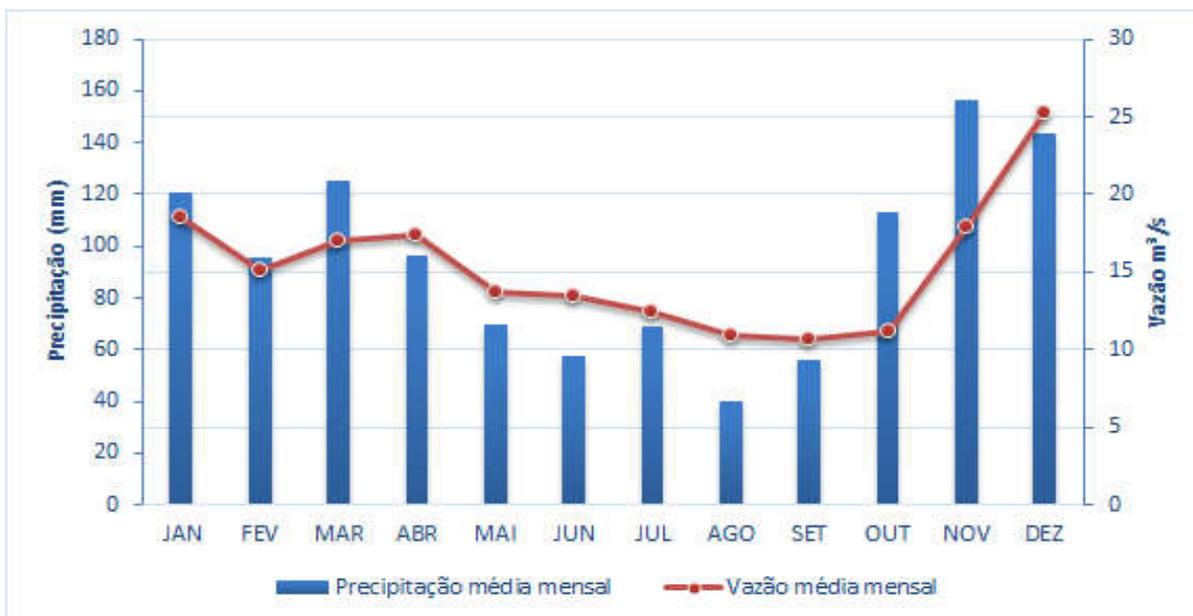


Figura 7: Identificação do ano hidrológico na área de drenagem da estação 5551000 a partir da precipitação média mensal e vazão média mensal de longa duração

Para a estação fluviométrica analisada, foram obtidas, a vazão média ( $Q_{\text{méd}}$ ), a vazão máxima anual ( $Q_{\text{máx}}$ ), a vazão mínima de sete dias de duração para o tempo de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ) e as vazões associadas às permanências de 90% e 95% do tempo,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , respectivamente.

Com base nos dados diários da estação fluviométrica, as vazões associadas à permanência de 90% e 95% foram obtidas pelas curvas de permanência, vazões essas que retratam a parcela de tempo a que determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado.

As vazões máximas foram estimadas utilizando a distribuição probabilística Log Normal III para diferentes períodos de retorno. Essa distribuição foi escolhida por apresentar o menor erro padrão, conforme apresentado por Santos (2010).

Os dados de vazão foram processados utilizando o *software* SisCAH 1.0 desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa, em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA).

### 3.3.4. Separação do escoamento superficial do subterrâneo

A separação do escoamento superficial do subterrâneo foi realizada através do *software SepHidro 1.0* (MIRANDA, 2014). Os dados de vazão e de precipitação foram inseridos nos padrões dos bancos de dados do sistema *HidroWeb* da ANA, sendo este um requisito para sua utilização.

Na Figura 8 é apresentada a tela de acesso as ferramentas do *software*. O seu funcionamento acontece segundo a seguinte sequência lógica:

- Entrada de dados de vazão;
- Entrada de dados de precipitação;
- Pré-Processamento dos dados de vazão onde os dados de vazão passam por um processo de análise de falhas, seleção e organização dos dados com nível de consistência 2 dos anos sem falhas;
- Pré-Processamento dos dados de precipitação sendo os mesmos submetidos a um processo de análise de falhas e organização dos dados com nível de consistência 2 (dados consistidos) dos anos sem falhas ;
- Preenchimento manual das áreas de influência de cada estação fluviométrica;
- Cálculo da precipitação média;
- Identificação e remoção de anos superior a 1% de falhas na série de vazões;
- Entrada de dados referente à área de drenagem da estação fluviométrica;
- Calculo do intervalo  $2N^*$  dias;
- Definição do início do ano hidrológico;
- Separação automática dos escoamentos pelos métodos do Intervalo Fixo, Intervalo Móvel e Mínimo Local;

The screenshot displays the 'Separação' (Separation) interface of the SepHidro 1.0 software. It is divided into two main sections: 'Entrada de Dados' (Data Entry) on the left and 'Precipitação' (Precipitation) on the right.

**Entrada de Dados (Left Panel):**

- Buttons: 'CANCELAR', 'NOVO', 'Pré-processamento de dados de vazão', 'Diagrama de Barras', and 'Resultados'.
- Section: 'Definição de parâmetros' (Parameter Definition).
- Fields:
  - Área da Bacia (km<sup>2</sup>): 2960,0
  - N dias: 5,98
  - 2N dias: 11,96
  - 2N\* dias: 12,0
  - Ano Hidrológico (n° do mês): 10
- Options: 'Separação por Intervalos Fixos', 'Separação por Intervalos Móveis', and 'Separação por Mínimos Locais'.

**Precipitação (Right Panel):**

- Buttons: 'Pré-processamento de dados de chuvas' and 'Precipitação média'.
- Table: 'Precipitação média' showing data for 10 stations.

id.	Estação	Área de influência
1	1739006	793,86
2	1739020	432,86
3	1740001	560,33
4	1740005	1064,32
5	1740026	6,43
6	1839015	102,20
7		1
8		1
9		1
10		1

Figura 8: Tela de acesso às ferramentas do *software SepHidro 1.0*

A partir dos dados obtidos das séries históricas de precipitação e vazão, foram calculados os valores de vazão de escoamento subterrâneo ( $Q_{ESub}$ ), volume de escoamento total ( $V$ ), volume de escoamento subterrâneo ( $V_{ESub}$ ), volume de escoamento superficial direto ( $V_{ES}$ ), volume de escoamento superficial direto anual ( $V_{ESa}$ ), e de coeficiente de escoamento superficial direto (CES), dados pelas equações abaixo:

$$V_i = \int_{t_i}^{t_{i+1}} Q_{(i)} dt = \frac{(Q_{(i+1)} + Q_{(i)})}{2} \Delta t \quad (6)$$

$$V_{ESub(i)} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} Q_{ESub(i)} dt = \frac{(Q_{ESub(i+1)} + Q_{ESub(i)})}{2} \Delta t \quad (7)$$

$$V_{ES(i)} = V_i - V_{ESub(i)} \quad (8)$$

$$V_{ESa} = \sum_{i=1}^{ud} V_{ES(i)} \quad (9)$$

$$CES = \frac{V_{ESa}}{10 A Pt} \quad (10)$$

Em que,

$V_{(i)}$  = volume de escoamento total no dia  $i$ ,  $m^3$ ;

$Q_{(i)}$  = vazão do dia  $i$ , obtida da base de dados da estação fluviométrica,  $m^3 s^{-1}$ ;

$\Delta t$  = intervalo de tempo compreendido entre os instantes  $t_i$  e  $t_{i+1}$ , igual a 86400s;

$V_{ESub(i)}$  = volume de escoamento subterrâneo no dia  $i$ ,  $m^3$ ;

$Q_{ESub(i)}$  = vazão correspondente ao escoamento subterrâneo no dia  $i$ ,  $m^3 s^{-1}$ ;

$V_{ES(i)}$  = volume de escoamento superficial direto no dia  $i$ ,  $m^3$ .

$V_{ESa}$  = volume de escoamento superficial direto total anual,  $m^3$ ;

$ud$  = último dia do ano hidrológico;

$A$  = área de drenagem da estação fluviométrica,  $km^2$ ;

$Pt$  = precipitação total na área,  $mm$ ;

$CES$  = coeficiente de escoamento superficial direto (%);

Foi adotado para o presente estudo o método dos Mínimos Locais, por ser o método que mais se assemelha com o método de traçadores.

### 3.3.5. Análise de estacionariedade das variáveis hidrológicas

Para a análise de estacionariedade foi verificada a homogeneidade da média e da variância da série hidrológica para os dois períodos estudados, 1975 a 1989 e 1990 a 2014. Tais análises foram feitas através dos testes de Fisher e  $t$  de Student, sendo a série ajustada à distribuição normal para aplicação dos testes (TUCCI 2002). Nesses testes é testada a hipótese nula de que as séries são homogêneas, ou seja, se não houve alteração de tendência significativa na série, contra a hipótese de que houve alteração de tendência significativa na série, conforme a equação:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases} \quad \begin{cases} H_0: \sigma_1 = \sigma_2 \\ H_a: \sigma_1 \neq \sigma_2 \end{cases} \quad (11)$$

Em que,

$H_0$  = Hipótese nula;

$H_a$  = Hipótese alternativa;

$\mu_1$  = Média da variável em análise referente ao período de 1975 a 1989;

$\mu_2$  = Média da variável em análise referente ao período de 1990 a 2014;

$\sigma_1$  = Variância da variável em análise referente ao período de 1975 a 1989;

$\sigma_2$  = Variância da variável em análise referente ao período de 1990 a 2014;

Para a verificação da homogeneidade da variância foi utilizado o teste F de Fisher. Considerando que as séries amostrais utilizadas pertencem a populações normais e que são independentes, o teste F é calculado por:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (12)$$

Em que,

$S_1^2$  = Variância da variável referente ao período de 1975 a 1989;

$S_2^2$  = Variância da variável referente ao período de 1990 a 2014;

O  $P$ -valor do também denominado nível descritivo do teste, é a probabilidade de que a estatística do teste (como variável aleatória) tenha valor extremo em relação ao valor observado (estatística), quando a hipótese  $H_0$  é verdadeira. O  $P$ -valor do teste  $F$  deve ser comparado com o nível de significância do teste, sendo que a hipótese  $H_0$  de igualdade das variâncias deve ser aceita se o  $P$ -valor do teste  $F$  for maior do que o nível de significância. Para o presente estudo foi adotado o nível de significância de 5%

Para a verificação da homogeneidade da média, foi utilizada o teste  $t$  de Student. Caso a hipótese de igualdade das variâncias não seja rejeitada, o valor de  $t$  do teste Student de homogeneidade das médias é calculado por:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s \left( \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (13)$$

Caso a hipótese de igualdade das variâncias seja rejeitada, o valor de  $t$  é calculado por:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\left( \frac{s^2_1}{N_1} + \frac{s^2_2}{N_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (14)$$

Em que,

$\bar{x}_1$  = Média da variável referente ao período de 1975 a 1989;

$\bar{x}_2$  = Média da variável referente ao período de 1975 a 1989;

$s$  = Estimativa do desvio padrão em todo período de dados;

$s^2_1$  = Estimativa do desvio padrão da variável do período de 1975 a 1989;

$s^2_2$  = Estimativa do desvio padrão da variável do período de 1989 a 2014;

$N_1$  = Número de eventos da amostra 1;

$N_2$  = Número de eventos da amostra 2;

A hipótese da homogeneidade da média é aceita quando  $P$ -valor do teste  $t$  for maior que o nível de significância. Para o presente estudo foi adotado o nível de significância de 5%.

## 4. RESULTADOS E DISCURSÃO

### 4.1. Mudanças no uso do solo

No ano de 1989 o uso e ocupação do solo predominantemente na área era a pastagem, abrangendo uma área de 2386,19 km<sup>2</sup>, que corresponde a 80,61% do total da área. É possível observar que as áreas de mata nativa são de apenas 161,89 km<sup>2</sup>, que representa 5,47% do total da área de estudo, tendo assim uma área correspondente quase 15 vezes menor em relação as áreas de pastagem, conforme é apresentado na Figura 9 e na Tabela 6.

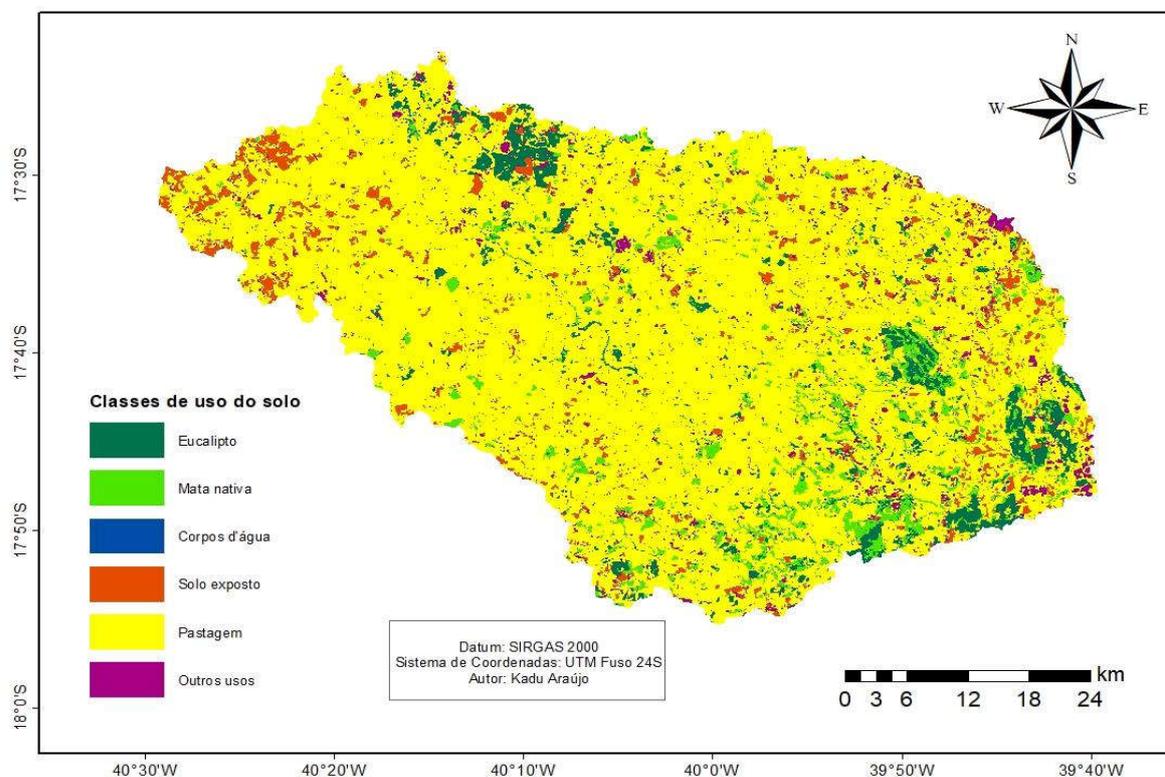


Figura 9: Mapa de uso do solo da área de influência da bacia do Rio Peruípe do ano de 1989

Tabela 6: Área ocupada e percentual de cada classe de uso do solo na área de influência da bacia do Rio Peruípe nos anos de 1989 e 2014

Classes	Área 1989		Área 2014		Diferença (%)
	km <sup>2</sup>	(%)	km <sup>2</sup>	(%)	
<b>Eucalipto</b>	171,09	5,78	893,35	30,18	24,4
<b>Mata nativa</b>	161,89	5,47	198,84	6,72	1,25
<b>Corpos d'água</b>	0,52	0,02	1,14	0,04	0,02
<b>Solo exposto</b>	151,35	5,11	165,74	5,60	0,49
<b>Pastagem</b>	2386,19	80,61	990,11	33,45	-47,16
<b>Outros usos</b>	88,96	3,01	710,82	24,01	21,00

A diferença entre as áreas de pastagem e de mata nativa em 1989 tem relações diretas. A partir da década de 1950, a extração madeireira, que se constituía uma atividade econômica destacada na época, contribuiu para a ação dos pecuaristas na região, os quais, muitas vezes, já encontravam as terras “limpas”, isto é, já desmatadas para a formação de pastagens. Em meados da década de 1960 e início da de 1970 surge um novo ciclo madeireiro, no qual é intensificado o processo de desmatamento da Mata Atlântica, que se encontrava relativamente preservada até o início da década de 1960 (ALMEIDA, 2009). Essa exploração de madeira significou a substituição de áreas de mata nativa por pastagem (AMORIM *et al.*, 2007).

No ano de 1989, observa-se que a área plantada de eucalipto totalizou 171,09 km<sup>2</sup>, que representa 5,78% do total da área de estudo (Figura 9 e Tabela 6). A implantação do acesso rodoviário, o baixo valor das terras, associadas aos incentivos fiscais do governo nas décadas de 1970 e 1980 e as altas potencialidades naturais da região, estimularam a expansão da cultura do eucalipto e a introdução de empresas de papel e celulose na região, como a Bahia Sul Celulose (CAR, 1994; DIAS, 2001; AMORIM *et al.*, 2007). Os plantios tiveram início em 1974, e foi aumentando gradativamente. Em meados de 1990 foram iniciadas as atividades de colheita do eucalipto visando o abastecimento da fábrica de celulose da Bahia Sul Celulose, que foi inaugurada no início de 1992.

No ano de 2014, nota-se aumento considerável nas áreas de eucalipto que passou de 171,09 para 893,35 km<sup>2</sup> em 2014, correspondendo a um aumento de 522,15% passando a representar 30,18% da área total de estudo. (Figura 10 e Tabela 6).

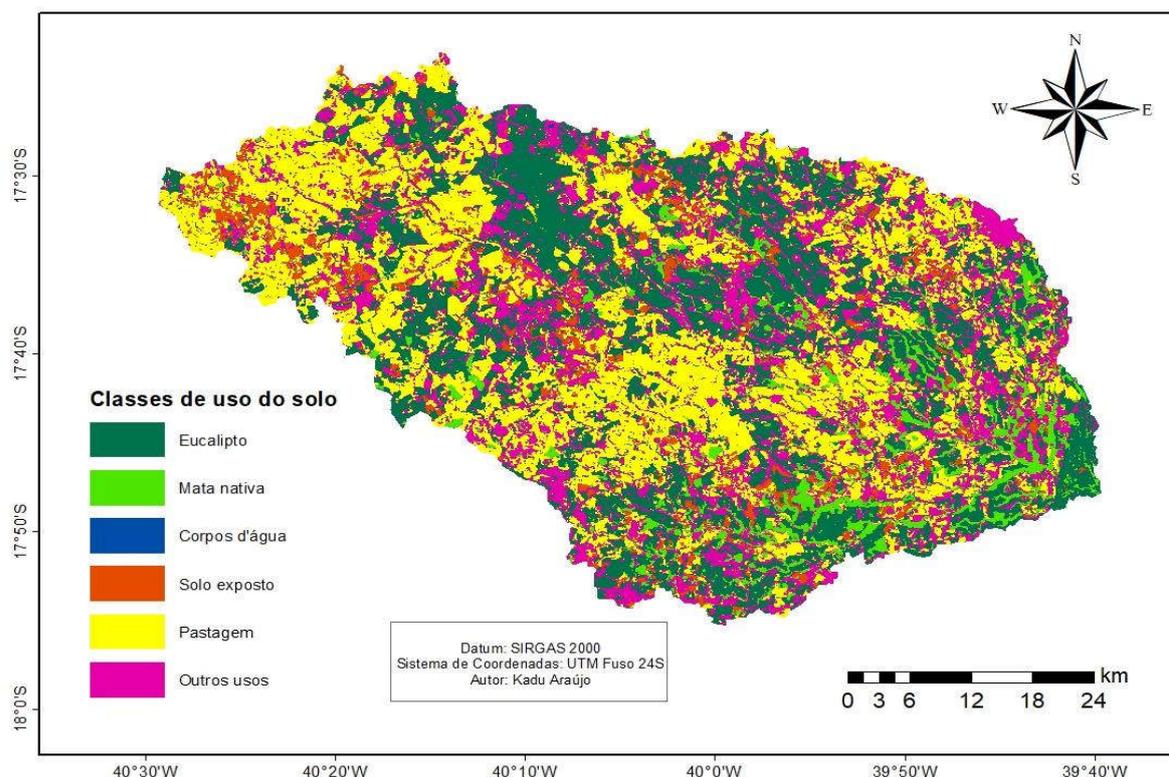


Figura 10: Mapa de uso do solo da área de influência da bacia do Rio Peruípe do ano de 2014

Vários fatores influenciaram esse crescimento da cultura de eucalipto na região. Na década de 1990 foram oferecidas novas linhas de crédito pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES para as empresas de reflorestamento, o que intensificou o plantio de eucalipto na região e a produção de celulose nas unidades industriais (FONTES, 2007). As condições naturais favoráveis (clima e solo), a proximidade dos centros de consumo e o custo da produção têm sido de suma importância para tal crescimento. O custo da produção de celulose no extremo sul da Bahia é um dos menores do mundo e a rotação do eucalipto é realizada em apenas 7 anos. (ALMEIDA, 2009). Em países da América do Sul, e do Centro – Leste e Oeste Europeu, a rotação do eucalipto é de 20 anos, enquanto que nos EUA e no Canadá são de 25 e 30 anos respectivamente. O Brasil lidera o *ranking* global de produtividade florestal para o eucalipto, apresentando uma média de 35,7 m<sup>3</sup>/ha/ano, tendo destaque, o extremo sul da Bahia (IBA, 2017).

Com o crescimento das plantações de eucalipto, as áreas de pastagem em 2014 reduziram cerca de 47,16%, o equivalente a 1396,08 km<sup>2</sup> do total da área de estudo, que corresponde a um decréscimo de 58,51% em relação ao ano de 1989 (Figura 10 e Tabela 6). O desmatamento das áreas da Mata Atlântica para a formação das pastagens, chegando a 80,61% da área no ano 1989, mostrou-se o cenário ideal para crescimento do plantio das florestas de

eucalipto, pelo fato dos pastos serem áreas abertas, sem maiores impedimentos para o cultivo (ALMEIDA, 2009).

As áreas de corpos d'água e solo exposto apresentaram aumento de cerca de 0,02% e 0,49% do ano de 1989 para o ano de 2014 (Tabela 6). A área de estudo não possui grandes reservatórios de água, representando em 2014 apenas 0,04% do total da área. As áreas de solo exposto corresponderam nesse mesmo ano a 5,6% do total da área de estudo, sendo em sua maioria de acordo com Almeida (2009), constituído por pastagens degradadas.

As áreas classificadas como outros usos, que abrange o cultivo de outras culturas agrícolas e área urbanizada, tiveram um aumento relevante, de cerca de 21% (Figuras 9 e 10 e Tabela 6). Com o aumento das áreas de cultivo de eucalipto ocorreram mudanças na estrutura fundiária da região, contribuindo para a concentração de terras. Como consequência, houve a saída da população do campo, para as cidades, aumentando dessa forma, as áreas urbanizadas na região (MACHADO, 1999; PEDREIRA, 2004). Apesar do cultivo de eucalipto ser a principal atividade econômica da região, os cultivos de cana-de-açúcar, a fruticultura e a agricultura familiar têm papel importante na economia da região, observada pelo aumento de suas áreas a partir do ano de 1989.

Em relação a mata nativa, nota-se que entres os anos de 1989 e 2014, sua área 1,25%, indo de 161,89 km<sup>2</sup> para 198,84 km<sup>2</sup> (Tabela 6). É provável que tal aumento tem relações com inserção da cultura do eucalipto na região, em decorrência das imposições legais dos órgãos ambientais responsáveis para conservação das Áreas de Proteção Permanente (APP's) e das áreas de Reservas Legal (RL), pertencentes a cada propriedade. Segundo estudos feitos por Almeida (2009), os plantios de eucaliptos analisados no extremo sul da Bahia não desrespeitaram as Áreas de Preservação Permanente, estando assim dentro dos limites estabelecidos pelo Código Florestal de 1965 e pela Resolução CONAMA 303/02, ainda vigentes no ano de 2009.

## **4.2. Análises das variáveis hidrológicas**

### **4.2.1. Precipitação**

No que se refere a precipitação média anual (Pa), não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os períodos analisados a partir da aplicação do teste *t* de *Student* (Tabela 7). Por meio do referido teste, constatou-se que o *P*-valor, que pode ser interpretado como sendo o menor valor do nível de significância para o qual a hipótese  $H_0$  (de não haver

diferenças significativa entre as médias) é rejeitada, foi de 73,9%, ou seja, para que  $H_0$  fosse rejeitada, os valores de  $P_a$  dos dois períodos, teria que ser considerado um nível de significância de 73,9%, um valor muito superior em relação ao níveis de significância de 5% adotado nesse trabalho, que é usualmente considerado como referência de análises para esse tipo de estudo.

Tabela 7: Resultados do teste estatístico  $t$  de Student para os valores de Precipitação média anual entre os períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014

Períodos	Média	Variância	Valor de $t$	$P$ - Valor
	Precipitação média anual ( $P_a$ )			
<b>1975 - 1989</b>	1113,89	60565,15	2,029	0,739
<b>1990 - 2014</b>	1086,68	62467,85		

A precipitação média anual compreendida entre os períodos de 1975 a 1989 e de 1990 a 2014 apresentaram resultados semelhantes, sendo o do período de 1975 a 1989 ligeiramente maior, com índices pluviométricos de 1113,89 e 1086,68 mm, respectivamente, que corresponde a uma diferença de apenas 2,44%, conforme registrado na Figura 11.

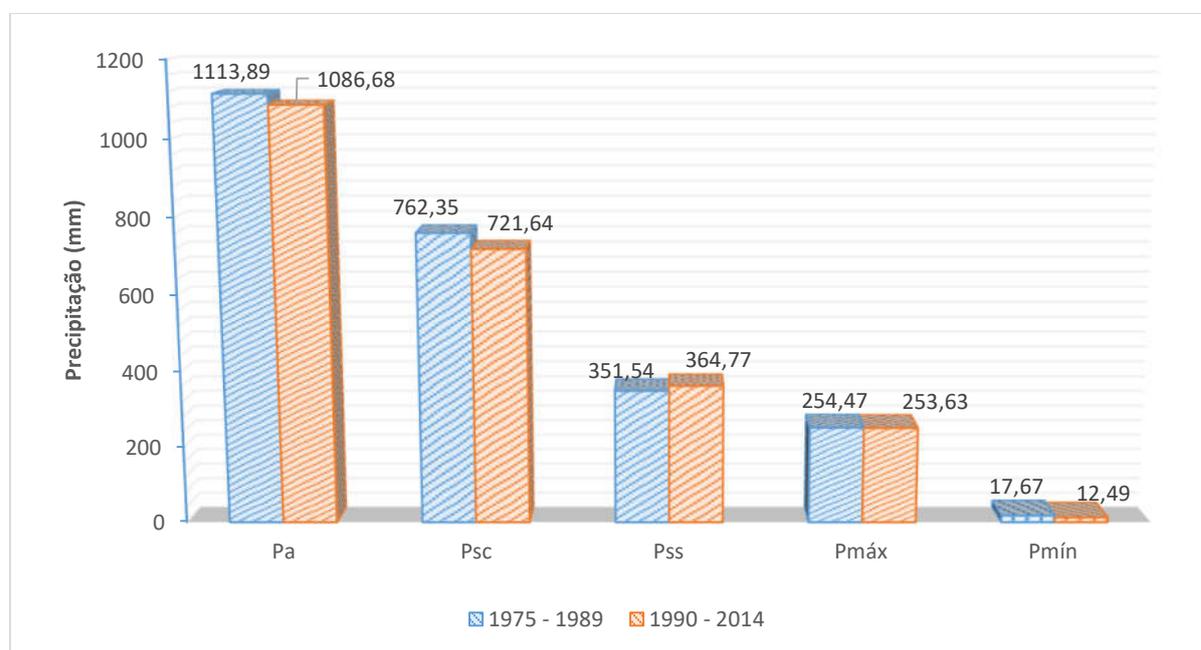


Figura 11: Valores médios de  $P_a$  (Precipitação média anual),  $P_{sc}$  (Precipitação do semestre mais chuvoso),  $P_{ss}$  (Precipitação do semestre mais seco),  $P_{máx}$  (Precipitação máxima mensal) e  $P_{mín}$  (Precipitação mínima mensal) para os períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014

Em média, os valores de precipitação máxima mensal ( $P_{máx}$ ) foram semelhantes nos dois períodos, sendo 254,47 mm para período de 1975 a 1989 e 253,63 mm para o período de

1990 a 2014, variando apenas 0,33%. Já em relação à média dos valores de precipitação mínima mensal (P<sub>mín</sub>), no período de 1975 a 1989 foi 29,35% superior em relação ao período de 1990 a 2014 com 17,67 contra 12,49 mm, respectivamente.

No que se refere a precipitação no semestre mais chuvoso (P<sub>sc</sub>), que abrange os meses entre outubro e março, a média de P<sub>sc</sub> foi maior 5,34% no período de 1975 a 1989 em relação ao período de 1990 a 2014, com 762,35 contra 721,64 mm, respectivamente. Quanto a precipitação do semestre mais seco (P<sub>ss</sub>), que corresponde aos meses entre abril e setembro, diferentemente do P<sub>sc</sub>, o período de 1975 – 1989 apresentou valor médio de P<sub>ss</sub> 3,63% menor em relação ao período de 1990 – 2014, com 351,54 contra 364,77 mm, respectivamente.

#### 4.2.2. Vazão

Na Figura 12 são apresentados os valores das vazões mínimas médias com sete dias de duração (Q<sub>7</sub>), das vazões com permanência de 90 e 95% do tempo na série (Q<sub>90</sub> e Q<sub>95</sub>), das médias anuais de longa duração (Q<sub>méd</sub>) e das vazões anuais máximas médias (Q<sub>máx</sub>) referentes aos períodos de 1975 a 1989 e de 1990 a 2014, correspondentes às épocas anterior e posterior ao cultivo de em larga escala da cultura do eucalipto na região.

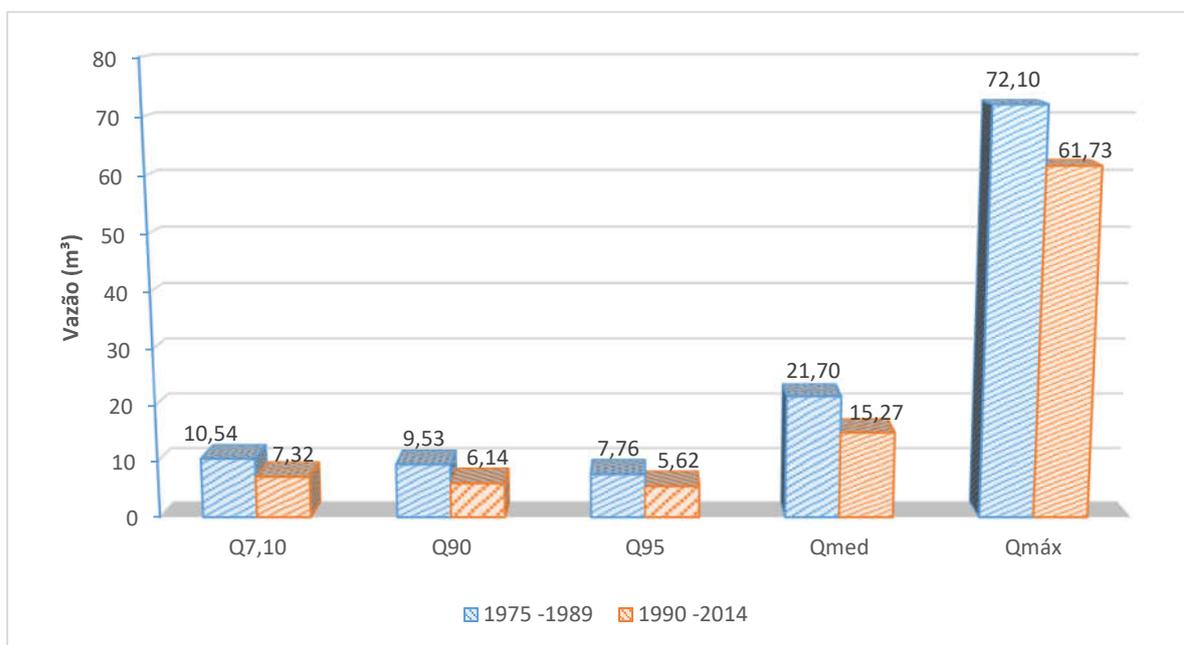


Figura 12: Valores das vazões mínimas médias com sete dias de duração (Q<sub>7</sub>), das vazões com permanência de 90 e 95% do tempo na série (Q<sub>90</sub> e Q<sub>95</sub>), das médias anuais de longa duração (Q<sub>méd</sub>) e das vazões anuais máximas médias (Q<sub>máx</sub>) dos períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014

De maneira geral observou-se redução nos valores das vazões no período de 1990 a

2014. No que se refere à Q7, foram encontradas evidências estatísticas que apontam mudanças significativas entre os períodos analisados a partir da aplicação do teste *t* de *Student*. Por meio desse teste, foi constatado que o *P*-valor, foi de apenas 0,2%, muito inferior ao nível de significância adotado de 5% (Tabela 8). Embora a Q7 não seja a vazão de referência para a outorga de uso de água na área de estudo, foi realizado esse levantamento para fins de comparação entre os dois períodos.

Tabela 8: Resultados do teste estatístico *t* de Student para a vazão mínima de sete dias de duração (Q7), vazão média (Q<sub>méd</sub>) e vazão máxima (Q<sub>máx</sub>)

Períodos	Média	Variância	Valor de <i>t</i>	<i>P</i> - Valor
	Vazão Mínima de sete dias de duração (Q7)			
1975 - 1989	10,54	14,32	3,257	0,002
1990 - 2014	7,32	5,78		
Vazão Média (Q <sub>méd</sub> )				
1975 - 1989	21,70	68,17	2,416	0,021
1990 - 2014	15,26	61,06		
Vazão Máxima (Q <sub>máx</sub> )				
1975 - 1989	72,10	1382,29	0,872	0,389
1990 - 2014	61,73	1208,08		

Nota-se que a Q7 diminuiu em média 3,22 m<sup>3</sup>/s no período de 1990 a 2014 em relação ao período de 1975 a 1989, saindo de 10,54 m<sup>3</sup>/s para 7,32 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a uma redução de 30,5%.

Na Figura 13 são apresentadas as curvas de permanência para os dois períodos estudados. Analisando as curvas de permanência dos períodos observou-se para toda faixa de vazões da série redução da frequência de ocorrência para os valores registrados entre 1990 e 2014, sendo evidenciado maiores decréscimos para menores vazões. Nota-se que para vazões iguais ou de magnitude superior a 50 m<sup>3</sup>/s, a redução da permanência da série referente ao período de 1975 a 1989 para 1990 a 2014 foi inferior a 2%, enquanto que vazões em torno de 10 m<sup>3</sup>/s apresentaram redução superior a 30%. Para a vazão de 10 m<sup>3</sup>/s por exemplo, para o período de 1975 a 1989 a permanência na série era de 87%, mas para o período 1990 a 2014 era de 53%.

Observa-se que o valor da Q90 (vazão de referência para a outorga de uso de água na área de estudo) no período de 1990 a 2014 foi 35,57% menor em relação ao período de 1975 a 1989, diminuindo de 9,53 m<sup>3</sup>/s para 6,14 m<sup>3</sup>/s. A Q95 diminuiu de 7,76 m<sup>3</sup>/s para 5,62 m<sup>3</sup>/s no período de 1990 a 2014, representando um decréscimo de 27,57%. Tais resultados apontam

redução da disponibilidade hídrica em função do aumento contínuo das florestas plantadas com eucalipto na área de estudo.

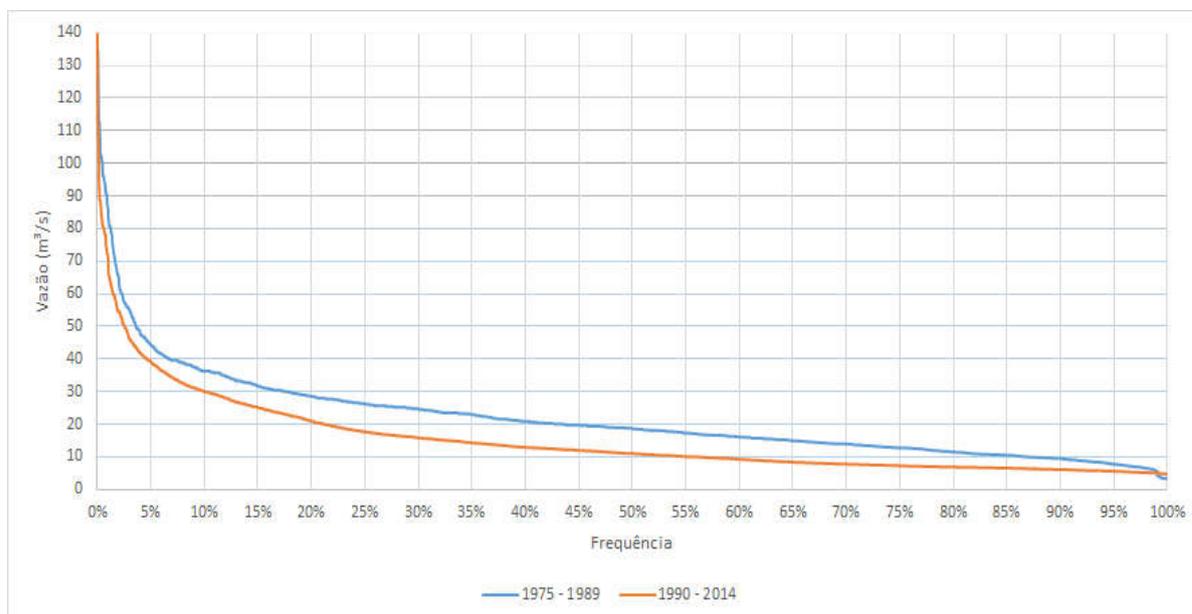


Figura 13: Curva de permanência dos períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014 da área de estudo

Almeida (2012), obteve resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho. Estudando a dinâmica hídrica em microbacias cultivadas com eucalipto e pastagem no leste de Minas Gerais, o autor encontrou Q95 43% menor em bacia cultivada com eucalipto em comparação com a bacia cultivada com pastagem sob as mesmas condições endoclimáticas. Lanza (2015) ao comparar o comportamento hidrológico de duas microbacias hidrográficas vizinhas ocupadas uma com eucalipto e outra com pastagem, constatou que as vazões na bacia com pastagem foram maiores do que na bacia com eucalipto em 80% de permanência. Já para as vazões mais baixas, ou seja, com permanência inferior 80%, ocorreu um comportamento inverso, onde bacia cultivada com eucalipto passou a apresentar maior vazão no curso de água em relação à bacia com pastagem.

Assim como ocorrido para a Q7, observou-se redução da vazão anual média de longa duração (Qmed) para o período de 1990 a 2014 quando comparado ao período de 1975 a 1989. A partir da aplicação do teste t de *Student*, foram evidenciadas diferenças significativas entre os resultados da Qmed dos dois períodos, uma vez que o *P*-valor obtido foi de 2,1% (Tabela 8).

Entre os respectivos períodos, a Qmed decresceu de 21,70 para 15,3 m³/s, correspondendo a uma redução de 29,63%. Tais resultados apontam redução da disponibilidade hídrica na área de estudo em decorrência do aumento contínuo da área plantada com a cultura

do eucalipto a partir do ano de 1990.

Diversos estudos identificaram redução na vazão média em bacias hidrográficas ocupadas com eucalipto. Almeida (2012) e Lanza (2015), observaram menores disponibilidade hídrica nas bacias cultivadas com florestas de eucalipto em relação as bacias cultivadas com pastagem, a qual foi refletida na vazão média anual. Almeida (2012) notou que a vazão média nas bacias com eucalipto foi 51,87% inferior em relação as bacias com pastagem. Lanza (2015) observou uma vazão 60% menor na bacia cultivada com eucalipto em relação a bacia cultivada com pastagem.

Baumhardt (2010), que estudou o balanço hídrico de microbacias de eucalipto e pastagem nativa no bioma Pampa no Rio grande do Sul, observou uma redução de 42% na vazão da microbacia cultivada com eucalipto em comparação com a microbacia cultivada com pastagem nativa. Já Nosetto (2005), que comparou o rendimento hídrico entre bacias com eucalipto e bacias com campo nativo e pastagem do Pampa argentino, analisou que a bacia com eucalipto teve uma redução de 72,2% na vazão em relação ao campo nativo e pastagem.

Cabe ressaltar que a comparação entre áreas de eucalipto e pastagem na disponibilidade hídrica dos estudos citados foram realizados em bacias diferentes, que mesmo sendo próximas uma da outra, é possível apresentarem diferentes condições de precipitação, solo e relevo, que podem interferir nos valores de vazão. No presente estudo os resultados foram obtidos para a mesma bacia sob as mesmas condições solo, relevo e como já citado, de precipitação, deixando em evidencia as análises de vazão em função do aumento das áreas plantadas de eucalipto.

Analisando as médias mensais de longa duração referentes aos períodos analisados (Figura 14) nota-se que a redução de  $Q_{méd}$  ocorreu de forma distribuída ao longo do ano, mantendo assim a sazonalidade da vazão mesmo após o aumento das áreas plantadas de eucalipto.

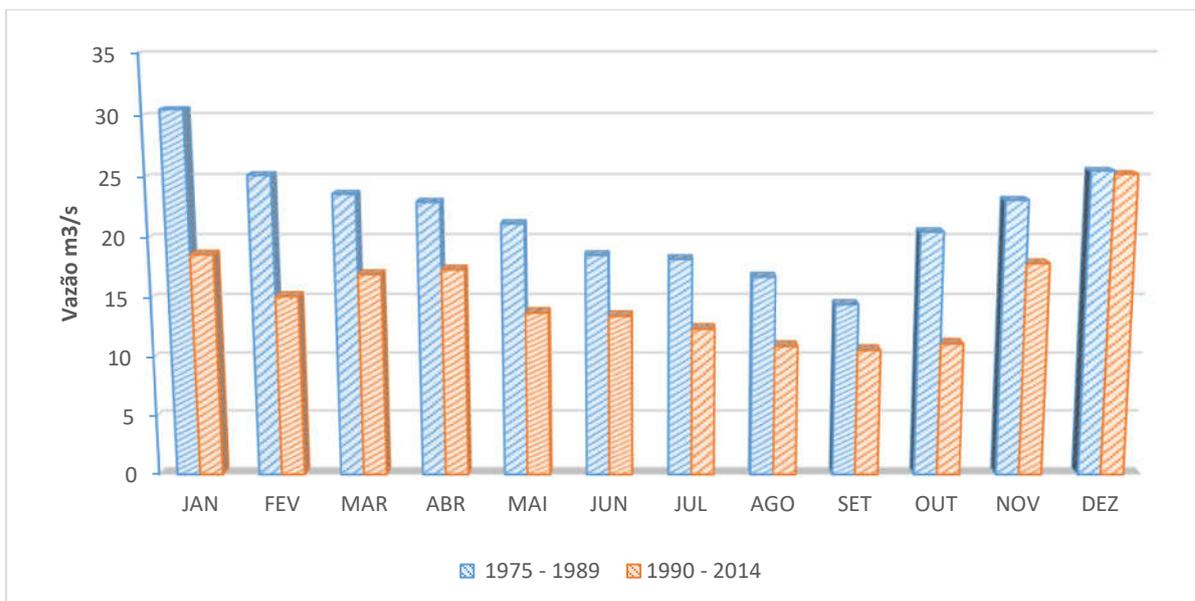


Figura 14: Vazão média mensal de longa duração dos períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014

Observa-se que no período de 1975 a 1989 a média mensal de longa duração é maior em todos os meses em comparação com o período de 1990 a 2014. O mês setembro apresentou os menores valores médios de vazão nos dois períodos com 14,47 m<sup>3</sup>/s entre 1975 a 1989 e 10,61 m<sup>3</sup>/s entre 1990 a 2014. Em relação a maior média mensal, janeiro foi o mês com maior índice entre 1975 a 1989 com 30,46 m<sup>3</sup>/s, enquanto que entre 1990 a 2014 o mês com maior índice foi dezembro com 25,22 m<sup>3</sup>/s.

Com relação às vazões máximas anuais (Q<sub>máx</sub>), diferentemente do observado para a Q<sub>7</sub> e Q<sub>méd</sub>, a partir da aplicação do teste *t* de *Student*, não foram evidenciadas diferenças significativas entre os resultados dos dois períodos, uma vez que o *P*-valor obtido foi de 74,70% (Tabela 8).

Apesar do teste estatístico não apresentar mudanças significativas nos eventos de vazões máximas, nota-se que no período de 1990 a 2014 apresentou índices menores em relação ao período 1975 a 1989, assim como foi com as vazões médias e mínimas. A média da Q<sub>máx</sub> para o período de 1990 a 2014 foi de 61,73 m<sup>3</sup>/s, 14,38% menor em relação ao período de 1975 a 1989 que foi de 72,10 m<sup>3</sup>/s (Figura 12).

A redução da Q<sub>máx</sub> entre os períodos pode ser considerada como característica desejável, visto que nessa condição espera-se redução na probabilidade de ocorrências de eventos de maiores magnitudes e, conseqüentemente, a diminuição do risco de enchentes. Com o desmatamento acentuado das áreas de mata nativa na década de 70 e a formação de pastagens em seu lugar, é de se esperar o aumento do escoamento superficial e conseqüentemente da

vazão no rio, ocasionando o aumento das vazões máximas para o período de 1975 a 1989. Com o aumento da área de florestas plantadas de eucalipto em substituição as áreas de pasto no período de 1990 a 2014, a interceptação da água da chuva tende a aumentar, devido ao aumento do índice de área foliar. Esse fator, juntamente com a redução da umidade do solo, maior evapotranspiração, melhorias nas condições de infiltração e aumento da rugosidade do terreno proporcionadas pelas florestas de eucalipto, diminui a quantidade de água que escoar na superfície do solo, ocasionando a redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, reduz os valores de vazões máximas (CALDER, 2007).

Almeida (2012) também observou que as vazões máximas foram superiores nas microbacias com pastagem em relação ao eucalipto. Lanza (2015) analisou em seus estudos que a vazão máxima na bacia com eucalipto foi 72,4% menor em relação as bacias com pastagem.

Vários estudos indicam que a pastagem está relacionada com o aumento das vazões máximas. O pisoteio do gado pode aumentar a compactação da camada superficial do solo, e conseqüentemente, diminuir a infiltração da água da chuva, contribuindo para a elevação da vazão máxima (TUCCI e CLARKE, 1997, BALBINOT *et al.*, 2008 FREDDI *et al.*, 2007, PRUSKI *et al.*, 2003).

No estudo da mudança de uso e cobertura do solo na bacia do Taquari, no Rio Grande do Sul, Collischonn (2001) verificou que a classe pastagem é responsável por 13,2% do aumento do escoamento superficial, afirmando a grande influência desta classe no aumento das vazões máximas. Santos (2010), ao estudar a influência do uso do solo no comportamento hidrológico na bacia do Rio Lontra, localizado no estado do Tocantins, observou que a classe pastagem foi a que apresentou maior influência na mudança da vazão máxima.

Na Figura 15 é apresentada o período médio em que os eventos de vazões máximas são iguais ou superados para os anos entre 1975 a 1989 e 1990 a 2014. Comparando os dois períodos para diferentes tempos de retorno, observa-se que a tendência de ocorrência de eventos máximos de vazão é bem menor para o período de 1990 a 2014 em relação ao período de 1975 a 1989. Conforme a Figura 15, o tempo de retorno para que um evento de vazão de aproximadamente 162 m<sup>3</sup>/s aconteça no período de 1975 a 1989 é de aproximadamente 65 anos. Já para o ano de 1990 a 2014 o tempo de retorno para que esse mesmo evento aconteça é de 100 anos, que corresponde a uma diferença de 35 anos. Provavelmente essa redução na frequência de ocorrência dos eventos máximos no período de 1990 a 2014 se deve ao aumento das áreas de floresta plantada de eucalipto em substituição as áreas de pasto. Observa-se

também que para um tempo de retorno superior a 350 anos, os eventos máximos de vazão para os dois períodos tendem a convergir.

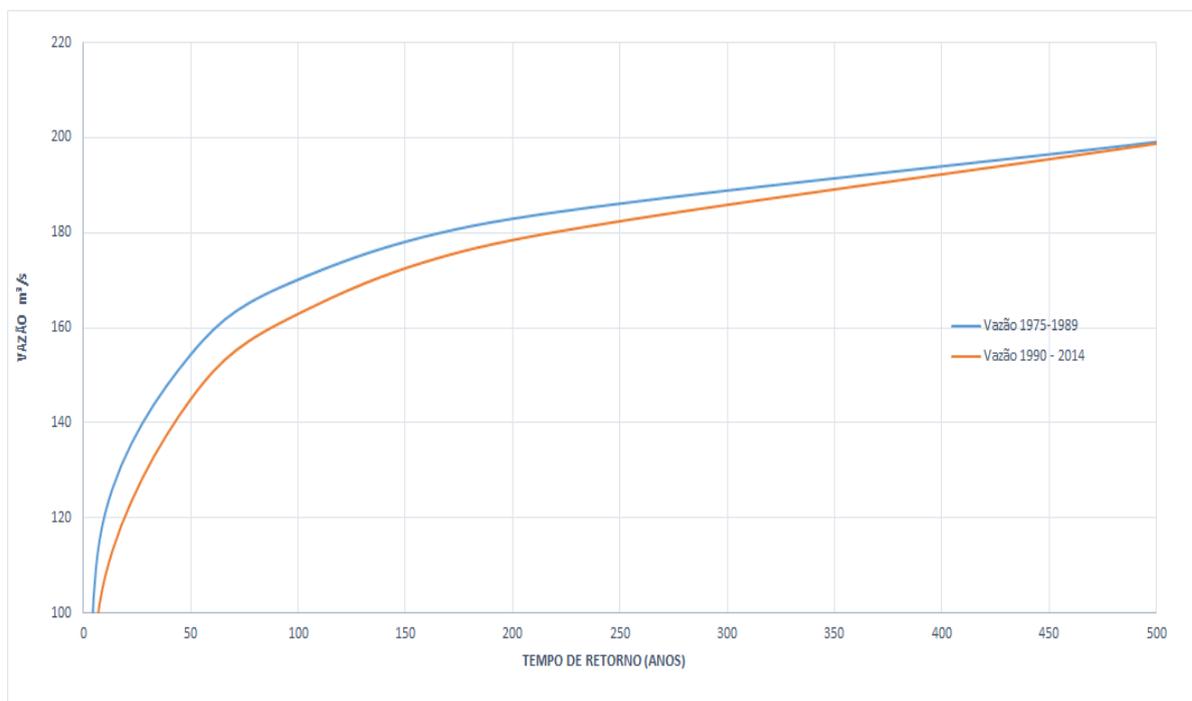


Figura 15: Eventos de máximos de vazões para os períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014 em função dos tempos de retorno de 2 a 500 anos

#### 4.2.3. Escoamento superficial e subterrâneo

Na análise das lâminas de escoamento superficial e subterrâneo foram observadas reduções nos valores destas para o período de 1990 a 2014, posterior à implantação do cultivo da cultura do eucalipto na região (Figura 16).

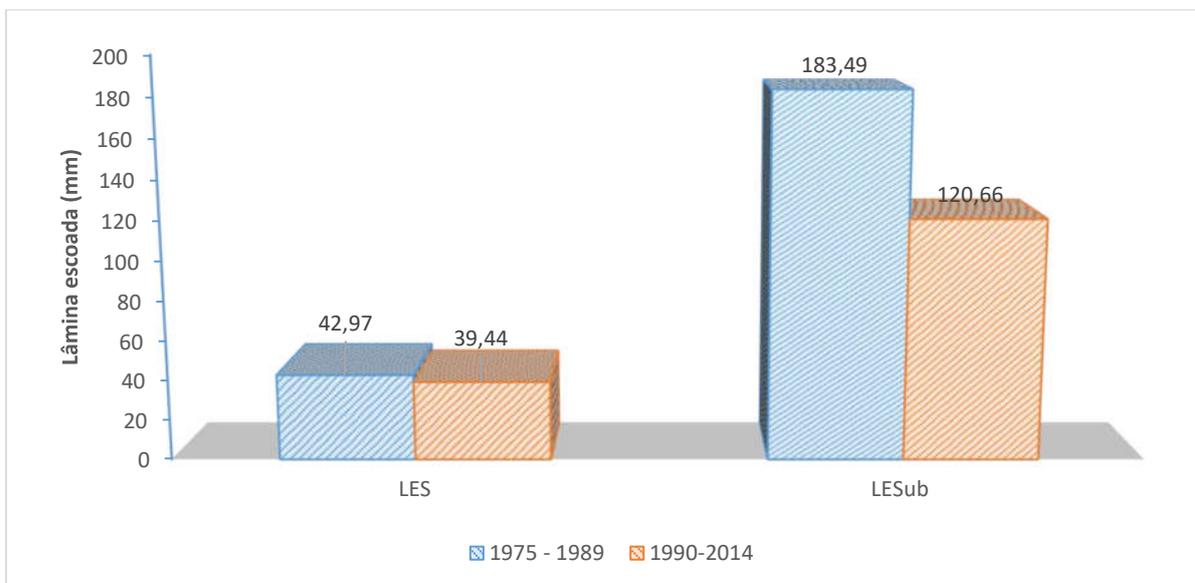


Figura 16: Média dos valores das lâminas de escoamento superficial (LES), e subterrâneo (LESub) dos períodos de 1975 a 1989 e 1990 a 2014

A partir da aplicação do teste  $t$  de *Student*, não foram verificadas diferenças significativas nas lâminas de escoamento superficial (Tabela 9).

Tabela 9: Resultados do teste estatístico  $t$  de *Student* para as lâminas de escoamento superficial (LES) e subterrâneo (LESub)

Períodos	Média	Variância	Valor de $t$	$P$ - Valor
1975 - 1989	42,97	430,45	0,515	0,609
1990 - 2014	39,44	433,65		
<b>Escoamento Subterrâneo</b>				
1975 - 1989	183,49	5005,20	0,706	0,007
1990 - 2014	120,66	4250,78		

Da vazão que escoou no curso d'água no período de 1975 a 1989 cerca de 19% foi proveniente de escoamento superficial, enquanto que no período de 1990 a 2014 foi de 25%. O aumento da parcela da vazão gerada por meio de escoamento superficial evidencia a redução proporcionalmente maior da lâmina de escoamento subterrâneo em relação a lâmina de escoamento superficial.

Embora não tenha ocorrido mudanças significativas do ponto de vista estatístico percebe-se que o escoamento superficial para o período de 1990 - 2014 foi inferior em 8,22% em relação ao período de 1975 a 1989, apresentando uma lâmina de escoamento em média de

39,44 mm, contra 42,97 mm do período de 1975 a 1989, que representa uma diferença de 3,53 mm. Provavelmente essa redução foi importante para amortizar os eventos máximos de vazão que diminuiu em média 14,38% conforme abordado anteriormente e apresentado na Figura 12. O percentual de chuva convertido em escoamento superficial (CES) apresentou resultados semelhantes para os dois períodos, sendo que período de 1990 a 2014 o CES foi de 3,5% representando assim redução de 0,1% em relação ao período de 1975 a 1989 que foi de 3,6%.

Ressalta-se que a redução de 8,22% na lâmina de escoamento superficial diz respeito a toda área de estudo. Visto que em 2014 o eucalipto compreende a 30,08% da área em questão e partindo do pressuposto de que a pastagem não sofreu alterações em suas características, essa diferença tende a ser ainda maior se for levado em consideração somente as áreas de eucalipto.

Foi destacado em outros trabalhos que os plantios florestais interferiram nas lâminas e no coeficiente de escoamento superficial (FARLEY et al., 2005; VON STACKELBERG et al., 2007). Os maiores coeficientes de escoamento superficial (CES) foram observadas nas bacias com pastagem, com os maiores valores de lâmina escoada superficialmente. Estudos realizados por Notter (2007) e Thanapakpawin (2007), as lâminas de escoamento em bacias com silviculturas tiveram uma redução de 70% em relação às bacias com atividade agropecuária. Comparando as bacias cultivadas com eucalipto e as bacias com pastagem, Almeida (2012) observou redução na lâmina de escoamento superficial em 36,72% e redução de 41,4% no coeficiente de escoamento superficial nas bacias com eucalipto.

Diferentemente das lâminas de escoamento superficial, houve diferenças significativas para as lâminas de escoamento subterrâneo de acordo com o teste *t* de *Student* (Tabela 9).

Durante o período de 1975 – 1989 a lâmina de escoamento subterrâneo foi de 183,49 mm, sendo 34,24% maior em relação ao período de 1990 – 2014, que foi de 120,66 mm (Figura 16). É provável que essa redução considerável se deu por conta da evapotranspiração da cultura do eucalipto. Almeida (2012) frisou que a lâmina de escoamento subterrâneo foi 48% menor nas bacias com eucalipto em comparação com as bacias com pastagem, e que mesmo apresentando uma maior taxa de infiltração estável de água no solo, essa água infiltrada não foi convertida em lâmina de escoamento subterrâneo, sendo consumidos pela vegetação no processo de evapotranspiração, uma vez que a taxa de evapotranspiração na bacia com eucalipto foi 63,36% maior que na bacia com pastagem. Em estudos feitos por Mosca (2003) e Lanza (2015) as taxas de evapotranspiração também foram maiores nas bacias cultivadas com eucalipto em comparação as bacias com pastagens.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que:

- As florestas plantadas de eucalipto aumentaram 522,15% no ano de 2014 em relação ao ano de 1989 passando a representar 30,18% do total da área de estudo.
- Houve redução na disponibilidade hídrica em consequência do aumento das áreas plantadas de eucalipto na área de estudo da bacia do Rio Peruípe. A Q7, Q90 e Q95 tiveram redução significativa no período de 1990 a 2014, respectivamente decrescendo 30,5%, 35,57% e 27,57% em relação ao período de 1975 a 1989. A Q<sub>med</sub> apresentou resultados semelhantes aos das vazões mínimas com redução de 29,63% no período de 1990 a 2014.
- Houve decréscimo de 14,38% da Q<sub>máx</sub> no período de 1990 a 2014 em relação ao período de 1975 a 1989.
- A lâmina de escoamento superficial no período de 1990 a 2014 reduziu 8,22% em relação ao período de 1975 a 1989 em consequência do aumento das áreas plantadas de eucalipto.
- A lâmina de escoamento subterrâneo reduziu 34,24%, provavelmente em virtude da taxa de evapotranspiração do eucalipto.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrofila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.
- ALMEIDA, A.Q. **Dinâmica hídrica em microbacias cultivadas com eucalipto e pastagem no leste de Minas Gerais**. 77f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 2012.
- ALMEIDA, T. M. **Cultivo de eucalipto no extremo sul da Bahia: modificações no uso da terra e socioeconômicas** / 2009. 115p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz, programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Ilheus – BA.
- AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. de . Degradação ambiental e novas territorialidades no Extremo Sul da Bahia. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v.8, p. 18-37, 2007.
- ANDRADE A.C.S. **Geologia da região costeira de Caravelas (Bahia): contribuição ao planejamento ambiental**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 1994.
- ASBJORNSEN, H.; GOLDSMITH, G. R.; ALVARADO-BARRIENTOS, M. S.; REBEL, K.; OSCH, F. P. V.; RIETKERK, M.; CHEN, J.; GOTSCH, S.; TOBÓN, C.; GEISSERT, D. R.; GÓMEZ-TAGLE, A.; VACHE, K.; DAWSON, T. E. Ecohydrological advances and applications in plant–water relations research: a review. **Journal of Plant Ecology**. v. 4, n. 1-2, p. 3-22, 2011
- ASSIS, J. M. O. et al. Mapeamento do uso e ocupação do solo no município de Belém de São Francisco – PE nos anos de 1985 e 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.7, n.5, p. 859-870, 2014. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/1056/615>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência Guarapuava**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008

BANDEIRA, E. L.; ALVES, C. M. D.; MELO, L. F. S. Análise Temporal por Imagens Landsat da Expansão da Fronteira Agrícola no Município Bom Jesus-PI. **Anais...** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, Recife - PE 2010, p. 1-6.

BARBOSA, F. **Ângulo da água**: desafios da integração. Belo Horizonte: UFMG, 2008. 366 p.

BAUMHARDT, E. **Balanço hídrico de microbacia com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do RS** .2010. 139 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BERTAZI, M. H.; ASSAF, E. M.; SANTOS, S. A. M. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) como Instrumento de Percepção Ambiental e a construção de material didático de apoio ao estudo das Bacias Hidrográficas. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, n. 49, Junho. 2011.

BRANDAO, V.S.; CECILIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. Infiltração de água no solo Vicoso: UFV, 2006. 86 p.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 01 de Julho de 2018.

BRODIE, R. S.; HOSTETLER, S. *A review of techniques for analysing baseflow from stream hydrographs*. Bureau of Rural Sciences; Australian Government; Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. **International Association of Hydrogeologist Conference**. Camberra, 2005, 13 p.

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

CAMPOS, S., NARDINI, R. C., BARROS, Z. X., CARDOSO, L. G.; Sistema de Informações Geográficas Aplicado na espacialização da capacidade de uso da terra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 174-179, 2010.

CAMPOS, S.; SOARES, M. C. E.; CAVASINI, R.; GRANATO, M.; MASHIKI, M. Y.; RUGGIERO, J. MOREIRA, K. F.; BARROS, Z. X. SIG aplicado na análise do conflito de uso da terra em áreas de preservação permanentes numa microbacia. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. v. 3, p. 14, 2010.

CARAM, R. O. **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba**. Piracicaba – São Paulo: ESALQ, 2010. 140 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

CLAUSEN, B. Discharge Data Collection and Analysis Strategies in Low Flow Studies. Department of Earth Sciences, Aarhus University, Denmark. *Nordic Hydrology*, v. 26, p. 191-204, 1995.

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

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO E AÇÃO REGIONAL – CAR. **Política de desenvolvimento para o extremo sul da Bahia**. Salvador; 1994. 142p.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Relaciones entre las escorrentías superficial y subterránea**. In: *Hidrología subterránea*. 2. ed. Editora Omega, Barcelona, 1983. Cap 11.2, p. 1121-1157.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L.; Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do rio Pardo - SP usando imagens LANDSAT-5. **RA'E GA**, Curitiba, v. 21, n. 1, p. 234- 271, 2011

DIAS, N. J. Os impactos da moderna indústria no Extremo Sul da Bahia: expectativas e frustrações. **Bahia análise e dados**. Salvador, SEI, v. 10, n. 4, p. 320-325, mar, 2001.

DOMINGUEZ, J. M. L. (org.). **Costa das Baleias: Caracterização da Zona Costeira dos Municípios de Alcobaça, Caravelas, Nova Viçosa e Mucuri**. Salvador: CBPM / UFBA – CPGG / LEC, 2008. 92p.

EMBRAPA (Empresa brasileira de pesquisa agropecuária). **Sobre o eucalipto**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/tema>. Acesso em: 19 de dezembro de 2018

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

FERNANDES, M. D.; OLIVEIRA, G. H. G.; NOBRE, B. A. 2012. Sensoriamento remoto e SIG aplicado no uso e ocupação do solo na bacia do rio São Lamberto no norte de Minas Gerais. II Colóquio Cidade e Região: Urbanidades e Ruralidades Contemporâneas, 9, 2012, Montes Claros. **Anais....** Montes Claros: Unimontes.

FILHO, J. L.; IOCHPE, C. **Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados**. 10ª Escuela de Ciencias Informáticas, Departamento de Computación, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 1996.

FLORENZANO, Tereza G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FOELKEL, C. E. B. **Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo**. Revista Visão Agrícola nº 4. p. 66-69; 2005

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.

FONTES, E. de O. **Organização do espaço e desenvolvimento regional no Extremo sul da Bahia**: os segmentos produtivos da celulose e do turismo. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Sergipe, 2007, 262p.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 627-636, 2007.

FREITAG, A.S. **Frequências de irrigação para *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliotti* em viveiro**. 2007. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

FUREY, P. R.; GUPTA, V. K. A physically based filter for separating base flow from streamflow time series. **Water Resources Research**, v. 37, n. 11, p. 2709-2722, 2001.

GRANEMANN, A. R. B.; MINE, M. R. M. Distribuições de probabilidade para vazões mínimas: uma revisão bibliográfica. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 21, 2015, Brasília-DF, 2015. p. 1-8.

HASSE, G. **Eucalipto**: histórias de um imigrante vegetal. Porto Alegre: JÁ Editores, 2006. 127 p. Virgens, A.P. das *et al.* **Análise Econômica e de Sensibilidade em um Povoamento Implantado no Sudoeste da Bahia**. *Floresta e Ambiente*. 23(2): p. 211-219. 2015.

HEINL, M.; WALDE, J.; TAPPEINER, G.; TAPPEINER, U. Classifiers vs. input variables – the drivers in image classification for land cover mapping. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, n. 6, p. 423– 430, 2009.

HOEG, S.; UHLENBROOK, S.; LEIBUNDGUT, Ch. Hydrograph separation in a mountainous catchment-combining hydrochemical and isotopic tracers. **Hydrol. Process.** v. 14, p. 1199-1216, 2000.

HUANG, M.; ZHANG, L. Hydrological responses to conservation practices in a catchment of the Loess Plateau, China. **Hydrol. Process.** v. 18, p. 1885-1898, 2004.

IBÁ (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES). **Relatório Ibá 2017**. Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios Ltda. Brasília – DF. 2017. 80 p.

USGS - United States Geological Survey. **Landsat 8**. Disponível em [https://www.usgs.gov/landresources/nli/landsat/landsat8?qtscience\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/landresources/nli/landsat/landsat8?qtscience_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con). Acesso em 18 de agosto de 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5930>. Acesso em 14 junho 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da segunda edição. São José dos Campos, Editora Parêntese, 2009. 598p.

LANZA, R. **Hidrologia comparativa e perda de solo e água em bacias hidrográficas cultivadas com eucalipto e campo nativo com pastagem Manejada/ 2015**. 150p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria – RS.

LATUF, M. O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio preto e ribeirão entre ribeiros**. Viçosa – MG: UFV. 2007. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

LIM, K. J. *et al.*. Automated Web GIS based Hydrograph Analysis Tool, WHAT. *Journal of the American Water Resources Association*. n. 04133, p. 1407-1416, 2005.

LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A., PAULHUS, J. L. *Hydrology for engineers* (3rded.). McGraw-Hill, New York, 1982, 508 p.

MACHADO, G. B. **Formação regional e movimentos sociais rurais no Extremo Sul da Bahia, nos anos 90**. Disponível em: <<http://www.gipaf.cnptia.embrapa.br/intens/publ/sober/trab254.pdf>> 1999. Acesso em: 05 jun. 2018.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das Angiospermas: Myrtales**. Santa Maria. Ed. da UFSM, 1997. 304p.

MARQUES, F. A. **Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos**. 2006. 124 p. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola- Universidade Federal de Viçosa- MG, Viçosa.

MARQUES, F. de AS. **Sistemas de controle em tempo real para a gestão dos usos múltiplos de água**. 2010. 246 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) –Universidade Federal de Vicoso, Vicoso, MG.

MAU, D. P.; WINTER, T. C. Estimating ground-water recharge from streamflow hydrographs for a small mountain watershed in a temperate humid climate, New Hampshire, USA. *Ground Water*, v. 35, n. 2, p. 291-304, 1997.

MENDONÇA, L. A. R.; VÁSQUEZ, M. A. N.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, J. F.; FRANCA, R. M.; VÁSQUEZ, E. M. F.; FRISCHKORN, H. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. *Eng Sanit Ambient*, v.14, n.1, p. 89-98, 2009.

MIRANDA, A.C. R. 1980. **Métodos de Separação dos escoamentos superficial direto e subterrâneo: estudo de caso para a Bacia do Rio das Velhas**. 2012. 83 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa – MG, Viçosa.

MIRANDA, A.C.R.; PRUSKI, F.; MARTINEZ, M.A.; CECON, P.R.; Métodos de Separação dos Escoamentos Superficial Direto e Subterrâneo: Estudo de Caso para a Bacia do Rio das Velhas. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 19 n.2 –169-181. Abr/Jun 2014.

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

MOSCA, A. R. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas.** 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

NOSETTO, M. D. et al. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.11, n. 1, p.1101-1117,2011.

NOSSETTO, M. D., E. G. JOBBÁGGY, AND J. M. PARUELO. Land-use change and water losses: the case of grassland afforestation across a soil texture gradient in central Argentina. **Global Change Biology** 11:1001–1017, 2005.

NOTTER, B. et al. Impacts of environmental change on water resources in the Mt. Kenya region. **Journal of Hydrology**, v. 343, n. 2, p. 266 - 278, 2007.

OLIVEIRA NETO, P. G. **Influência das mudanças no uso do solo no comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do Rio Catolé.** 2017. 73 p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista - BA.

PEDREIRA, M. da S. Complexo florestal, desenvolvimento e reconfiguração do espaço rural: o caso da Região Extremo Sul baiano. **Bahia análise e dados**, Salvador, v.13, n.4, p.1005-1018, mar 2004.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v. 11, n. 6, p. 615-622, 2007.

PERROCA, M. G.; GAIDZINSKI, R. R. **Avaliando a confiabilidade interavaliadores de um instrumento para classificação de pacientes - coeficiente Kappa.** *Rev. Esc. Enferm. USP*, 2003; 37 (1): 72-80

PETTYJOHN, W.A.; HENNING, R. *Preliminary estimate of ground-water recharge rates, related streamflow and water quality in Ohio*. Ohio State University. Water Resources Center Project Completion, Report N° 552. Ohio, 1979, 323 p.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2003. 88 p.

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

SANTAROSA EMILIANO, CNPF; JOEL FERREIRA PENTEADO JUNIOR, CNPF; IVES CLAYTON GOMES DOS REIS GOULART, CNPF. **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

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

SANTOS, E. A. **Influência do uso do solo na Bacia do Rio do Lontra**. 2010, 69 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa – MG, Viçosa.

SEITZ, N. E.; WESTBROOK, C. J.; NOBLE, B. F. Bringing science into river systems cumulative effects assessment practice. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 31, p. 172-179, 2011.

SERPA, P. N. et al. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 723-733, Oct. 2003. <<http://dx.doi.org/10.1590/S010067622003000500015>>.

SHAXSON, F.; BARBER. R. **Optimizing soil moisture for plant production: the significance of soil porosity**. *FAO Soils Bulletin 79*, FAO - Food and Agriculture Organization of the united nations, Rome, 2003.

SHIAVETTI A.; CAMARGO A.F.M. **Conceitos de bacias hidrográficas : teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002, 281p.

SOUZA, K. B. **Influência uso e ocupação do solo na vazão da Bacia do Rio Uruçuí-Preto, Piauí / 2015**. 80p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós- graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom Jesus-PI.

SOUZA, S.O; VALE, C. C; NASCIMENTO. Bacia do rio peruípe (ba): ensaio de classificação morfométrica por meio de dados SRTM, **Revista on-line Caminhos da Geografia, Uberlandia**, v. 14, n. 47, p. 208–222, set. 2013.

THANAPAKPAWIN, P. et al. Effects of land-use change on the hydrologic regime of the Mae Chaem river basin, NW Thailand. **Journal of Hydrology**, v. 334, n. 1, p. 215 - 230, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2009. 943 p.

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

TUCCI, C.E.M. **Vazão de referência**. 2009. Disponível em <http://rhama.com.br/blog/index.php/sem-categoria/vazao-de-referencia/>. Acesso em 02 de agosto de 2018.

TUCCI, C.E.M.; MENDIONDO, E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Pequenas bacias Hidrográficas: conceitos básicos**. Capítulo 1 em *Hidrologia Aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre, ABRH, 2001.

USGS - United States Geological Survey. **Landsat 8**. Disponível em [https://www.usgs.gov/landresources/nli/landsat/landsat8?qtscience\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/landresources/nli/landsat/landsat8?qtscience_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con). Acesso em 18 de agosto de 2018.

VAEZA, R. F. et al. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v.12, n.1, p. 23-29, 2010. Disponível em: < <http://www.floram.org/files/v17n1/v17n1a3.pdf> >. Acesso em: 25 fev. 2018.

VON STACKELBERG, N. O. et al. Simulation of the hydrologic effects of afforestation in the Tacuarembó River Basin, Uruguay. **Transactions of the ASABE**, v.50, n.3, p.455-468, 2007.

## Anexos

Anexo A - Valores de Pa (Precipitação média anual), Psc (Precipitação do semestre mais chuvoso), Pss (Precipitação do semestre mais seco), Pmáx (Precipitação máxima mensal) e Pmín (Precipitação mínima mensal) entre os anos de 1975 a 2014

<b>Ano</b>	<b>Pa</b>	<b>Psc</b>	<b>Pss</b>	<b>Pmáx</b>	<b>Pmín</b>
<b>1975</b>	1056,50	715,57	340,93	206,42	20,94
<b>1976</b>	984,72	587,66	397,07	265,00	15,34
<b>1977</b>	1263,62	833,28	430,35	222,36	29,94
<b>1978</b>	1149,76	633,11	516,65	184,95	29,56
<b>1979</b>	1202,17	983,06	219,11	293,47	14,72
<b>1980</b>	1242,32	816,12	426,20	248,59	29,02
<b>1981</b>	1273,54	880,71	392,83	323,73	7,98
<b>1982</b>	946,06	570,23	375,83	260,16	8,49
<b>1983</b>	1148,55	810,20	338,35	223,42	20,61
<b>1984</b>	1438,58	978,74	459,83	250,06	20,20
<b>1985</b>	1579,67	1273,17	306,49	517,28	15,84
<b>1986</b>	852,75	624,74	228,01	216,52	12,32
<b>1987</b>	635,59	435,63	199,96	190,97	7,39
<b>1988</b>	790,13	573,90	216,23	176,26	15,76
<b>1989</b>	1144,45	719,18	425,28	237,80	16,95
<b>1990</b>	1007,15	593,51	413,65	187,74	13,75
<b>1991</b>	998,82	636,15	362,67	207,51	40,59
<b>1992</b>	1725,93	1341,14	384,80	336,79	21,65
<b>1993</b>	842,88	431,38	411,50	206,76	7,99
<b>1994</b>	1027,83	645,22	382,61	256,86	18,07
<b>1995</b>	820,77	500,81	319,96	182,68	6,84
<b>1996</b>	892,72	644,12	248,59	311,57	4,63
<b>1997</b>	956,21	668,56	287,64	278,14	7,64
<b>1998</b>	970,42	773,96	196,45	298,43	10,60
<b>1999</b>	1180,90	760,03	420,87	280,54	12,26
<b>2000</b>	1457,96	953,74	504,23	302,25	9,58
<b>2001</b>	1179,60	696,22	483,38	223,76	13,15
<b>2002</b>	1306,90	837,60	462,75	270,92	18,18
<b>2003</b>	656,83	415,01	241,82	169,15	6,07
<b>2004</b>	1376,17	986,04	390,12	296,07	4,88
<b>2005</b>	1319,90	867,39	452,51	234,71	16,89
<b>2006</b>	1305,21	973,16	332,05	305,16	12,11
<b>2007</b>	781,46	524,01	257,46	236,74	6,92
<b>2008</b>	1171,14	887,41	283,73	259,31	15,29
<b>2009</b>	979,61	569,55	410,06	206,31	17,41
<b>2010</b>	1113,19	760,44	352,75	352,52	11,98
<b>2011</b>	1187,74	859,64	328,10	266,14	7,56
<b>2012</b>	750,68	338,96	411,72	174,52	14,19
<b>2013</b>	1258,01	798,30	459,71	299,85	8,89
<b>2014</b>	898,87	578,64	320,24	196,33	5,24

Anexo B - Série histórica com os valores de Q7(Vazão mínima de 7 dias de duração), Q90 (Vazão associada a permanência de 90% do tempo), Q95 (Vazão associada a permanência de 95% do tempo) Qméd (vazão média) e Qmáx (vazão máxima) entre os anos hidrológicos de 1975/1976 e 2013/2014

<b>Ano</b>	<b>Q7</b>	<b>Q90</b>	<b>Q95</b>	<b>Qméd</b>	<b>Qmáx</b>
<b>1975/1976</b>	8,99	9,70	9,37	14,3	49,24
<b>1976/1977</b>	11,91	12,81	12,48	19,02	39,63
<b>1977/1978</b>	12,56	16,06	14,72	24,2	52,33
<b>1978/1979</b>	13,3	14,98	13,86	23,22	66,15
<b>1979/1980</b>	12,14	14,98	13,38	25,49	86,59
<b>1980/1981</b>	11,81	13,04	12,59	24,34	114,33
<b>1981/1982</b>	16,29	21,58	19,11	37,75	134,85
<b>1982/1983</b>	11,43	12,16	11,55	18,13	54,65
<b>1983/1984</b>	10,67	13,74	11,85	20,72	61,15
<b>1984/1985</b>	13,59	18,78	15,51	33,99	134,85
<b>1985/1986</b>	12,04	13,62	12,93	28,27	102,13
<b>1986/1987</b>	3,43	8,37	3,46	12,2	31,07
<b>1987/1988</b>	3,72	7,76	4,18	13,55	65,49
<b>1988/1989</b>	5,69	6,46	6,20	8,57	16,92
<b>1989/1990</b>	6,32	6,60	6,43	10,47	65,63
<b>1990/1991</b>	7,11	8,64	7,97	12,15	40
<b>1991/1992</b>	9,51	12,14	10,24	30,26	92,07
<b>1992/1993</b>	12,83	16,77	14,53	36,47	112,14
<b>1993/1994</b>	9,81	10,71	10,15	16,99	66,08
<b>1994/1995</b>	6,72	7,28	6,90	12,35	37,91
<b>1995/1996</b>	6,45	6,72	6,60	9,92	37,23
<b>1996/1997</b>	6,6	6,72	6,66	10,51	32,84
<b>1997/1998</b>	5	5,23	5,14	6,57	22,14
<b>1998/1999</b>	4,61	5,04	4,78	8,95	52,81
<b>1999/2000</b>	5,26	5,82	5,42	17,97	105,32
<b>2000/2001</b>	9,96	11,66	11,00	20,05	76,27
<b>2001/2002</b>	13,18	16,77	15,40	31,27	139,68
<b>2002/2003</b>	8,83	9,70	9,53	14,82	49,6
<b>2003/2004</b>	6,55	7,76	7,22	16,71	50,05
<b>2004/2005</b>	9,01	10,52	9,88	19,84	56,74
<b>2005/2006</b>	8,19	9,62	9,07	18,76	64,91
<b>2006/2007</b>	9,15	10,15	9,57	20,15	132,96
<b>2007/2008</b>	5,69	6,25	6,09	8,8	20,98
<b>2008/2009</b>	5,29	5,98	5,67	10,72	39,11
<b>2009/2010</b>	4,84	5,52	5,28	10,03	50,5
<b>2010/2011</b>	5,65	5,82	5,82	9,64	30,57
<b>2011/2012</b>	5,72	5,98	5,82	9,73	40,72
<b>2012/2013</b>	4,8	5,09	4,91	7	18,34
<b>2013/2014</b>	5,89	6,20	6,03	11,51	108,67



