

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**INFLUÊNCIA DOS USOS CONSUNTIVOS DA ÁGUA E DO USO E  
COBERTURA DA TERRA NA VAZÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PARDO**

**LUCIA CATHERINNE OLIVEIRA SANTOS**

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA - BRASIL  
2017

**LUCIA CATHERINNE OLIVEIRA SANTOS**

**INFLUÊNCIA DOS USOS CONSUNTIVOS DA ÁGUA E DO USO E  
COBERTURA DA TERRA NA VAZÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PARDO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

**Orientador: Prof. Cristiano Tagliaferre (UESB)**

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA - BRASIL  
2017

**LUCIA CATHERINNE OLIVEIRA SANTOS**

**INFLUÊNCIA DOS USOS CONSUNTIVOS DA ÁGUA E DO USO E  
COBERTURA DA TERRA NA VAZÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PARDO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em:

Comissão Examinadora:

---

Prof. D.Sc. Felizardo Adenilson Rocha (IFBA)

---

Prof. D.Sc. Odair Lacerda Lemos (UESB)

---

Prof. D.Sc. André Quintão de Almeida (UFS) – Coorientador

---

Prof. D.Sc. Cristiano Tagliaferre (UESB) – Orientador

*Dedico este trabalho*

*Aos meus pais, Aduino e Aldira*

*Aos meus irmãos, Brigitte e Aydan*

*Ao meu namorado, José Ilmar Tínel Júnior*

*Aos meus pequenos Ádria e Davi*

*Às minhas avós, Lúcia e Raimunda (in memoriam)*

## AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta etapa, lembro-me de muitas pessoas a quem ressalto total agradecimento. Esta conquista concretiza-se com a contribuição, direta ou indireta, de cada uma delas.

Agradeço a Deus, pela força e coragem a mim concedidas durante toda a minha vida e durante esses últimos anos de luta. Não seria nada sem a fé que tenho em Ti. Sem Ti, não estaria aqui.

Agradeço aos meus pais, Adauto e Aldira, que não mediram e nem medem esforços para ir em busca do conhecimento. Sua presença significa segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada. Às minhas avós Lúcia e Raimunda (*in memoriam*) pelas palavras de incentivo e de fé.

Aos meus irmãos, Aydan e Brigitte, pela preocupação, cuidado e carinho, que me deram força para seguir em frente. Aos meus pequenos, Davi e Ádria, pelas diversas demonstrações de afeto, pelo amor e pela alegria que me proporcionam.

Ao meu namorado e companheiro de todas as horas, José Ilmar Tínel Júnior, por me acalmar e me ajudar nos momentos em que mais precisei.

Aos meus amigos e colegas de profissão, que conheci ao longo do Mestrado, principalmente à Walleska, pela companhia de sempre, e às queridas Naildy e d. Áurea, pelo acolhimento.

Ao meu querido orientador Dr. Cristiano Tagliaferre, pela confiança, incentivo e compreensão de sempre, e ao meu estimado coorientador Dr. André Quintão de Almeida, pela ajuda ímpar, incentivo e colaboração para que o trabalho fosse realizado. Vocês foram muito importantes no desenvolvimento desta dissertação, orientando-me e esclarecendo minhas infinitas dúvidas.

Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – Vitória da Conquista/BA, em nome de Gabriel. Pela colaboração para obtenção dos dados utilizados na pesquisa.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pelo incentivo financeiro e a toda equipe do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais – UESB.

Enfim, muito obrigada a todas as pessoas que contribuíram para meu sucesso e para meu crescimento como pessoa. Sou o resultado da confiança e da força de cada um de vocês.

*“É inútil fazer com mais o que pode ser feito com menos.”  
(Guilherme de Ockham)*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
<b>2.1. Bacia hidrográfica do rio Pardo</b> .....	4
<b>2.2. Gestão Integrada de Recursos Hídricos x Uso e Cobertura da Terra</b> .....	6
<b>2.3. Importância da análise do comportamento hidrológico e da estimativa do uso consuntivo para a gestão de recursos hídricos</b> .....	8
<b>2.4. Levantamento do uso da terra a partir do sensoriamento remoto</b> .....	10
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	12
<b>3.1. Descrição da área de estudo</b> .....	12
<b>3.2. Análise do comportamento hidrológico na bacia do Pardo</b> .....	13
<b>3.2.1. Preenchimento de falhas e extensão das séries fluviométricas</b> .....	14
<b>3.2.2. Precipitação média anual</b> .....	14
<b>3.2.3. Estimativa de vazões mínimas, máximas e médias</b> .....	15
<b>3.2.4. Coeficiente de deságue</b> .....	16
<b>3.3. Vazões de retirada, de retorno e consumida por quatro segmentos de usuários</b> .....	16
<b>3.3.1. Irrigação</b> .....	20
<b>3.3.2. Abastecimento animal</b> .....	29
<b>3.3.3. Abastecimento humano urbano</b> .....	30
<b>3.3.4. Abastecimento humano rural</b> .....	31
<b>3.4. Estimativa das vazões naturais</b> .....	34
<b>3.5. Relação entre o uso da terra e o comportamento fluvial na bacia hidrográfica do rio Pardo</b> .....	34
<b>3.5.1. Imagens de satélite</b> .....	34
<b>3.5.2. Classificação não supervisionada</b> .....	35
<b>3.6. Análise exploratória dos dados</b> .....	36
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
<b>4.1. Estudo do comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do rio Pardo</b> .....	37
<b>4.2. Vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano urbano e humano rural, no período de 1984 a 2013, na bacia do rio Pardo</b> .....	47
<b>4.2.1. Variação das vazões consumidas no período de 1984 a 2013</b> .....	49

<b>4.3. Impacto das vazões consumidas pelos quatro segmentos de usuários estudados no comportamento hidrológico da bacia do rio Pardo .....</b>	<b>51</b>
<b>4.3.1. Impacto na vazão média de longa duração.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3.2. Impacto da vazão retirada pela irrigação nas vazões mínimas.....</b>	<b>53</b>
<b>4.4. Classificação do uso e cobertura da terra na bacia do rio Pardo e a interação da floresta com o regime hidrológico.....</b>	<b>59</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>64</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>



## RESUMO

SANTOS, Lucia Catherinne Oliveira, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2017. **Influência dos usos consuntivos da água e do uso e cobertura da terra na vazão da bacia hidrográfica do rio Pardo**. Orientador: Cristiano Tagliaferre. Coorientador: André Quintão de Almeida.

A ampliação da área irrigada, a má distribuição temporal e espacial, bem como o mau uso da água e da terra são causas de graves problemas hídricos em bacias hidrográficas. Diante da relevância do conhecimento do comportamento hidrológico e da cobertura do uso da terra e da ausência do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Pardo, com base nas estimativas dos usos consuntivos da água e a influência da cobertura vegetal nas vazões mínimas, média e máxima do rio. Foram analisadas a distribuição espacial da precipitação média anual; da evapotranspiração de referência média anual; das vazões mínimas, médias de longa duração, máximas e associadas à permanência de 90%; das vazões específicas média de longa duração; e do coeficiente de deságue em 10 estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Pardo. Para a estimativa das vazões de retirada e consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos humano urbano, humano rural e animal, utilizou-se dados obtidos no IBGE e no boletim 24 da FAO, no caso de dados relacionados às culturas para o cálculo referente à irrigação. Para o estudo do uso e cobertura da terra ao longo da bacia, foram utilizadas seis imagens de satélite Landsat do ano de 2011, com resolução espacial de 30 metros, tendo sido tratadas através do software ArcGIS. A análise quantitativa dos dados foi realizada usando o procedimento estatístico de regressão linear simples, adotando como variável dependente as vazões e variáveis independentes a porcentagem de floresta na área de drenagem de cada estação fluviométrica e regressão linear múltipla; adotando como variável dependente as vazões máximas e variáveis independentes a área de drenagem e a área florestada de cada sub-bacia. Os resultados demonstraram que as precipitações médias anuais e as vazões específicas médias de longa duração se comportaram de forma semelhante, apresentando maiores valores mais próximo à foz, decrescendo na região central da bacia; as vazões máximas, mínimas e médias de longa duração aumentaram em direção à foz; em geral, o total consumido pelos

quatro segmentos de usuário foi muito expressivo com relação à vazão média de longa duração, sendo a irrigação o segmento que mais consome água na bacia, variando entre 95,8 e 99,1% do total consumido; a vazão de retirada pela irrigação atingiu 87,2% da  $Q_{7,10}$  observada, 48,6% da  $Q_{7,10}$  natural e 92,6% da  $Q_{90}$  na estação Inhobim; as áreas ocupadas por pastagem representam a categoria de uso da terra predominante na bacia; e, de uma forma geral, a análise quantitativa conseguiu definir as relações entre a porcentagem de floresta e o comportamento hidrológico, sendo a porcentagem de floresta o que mais influencia nas vazões dos rios.

**Palavras-chave:** gestão hídrica, cobertura vegetal, uso da água.

## ABSTRACT

SANTOS, Lucia Catherinne Oliveira, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2017. **Influence of the consulting uses of water and of the use and coverage of the land in the flow of the river basin of the river Pardo.** Adviser: Cristiano Tagliaferre. Co-Adviser: André Quintão de Almeida.

Expansion of the irrigated area, poor temporal and spatial distribution, as well as the misuse of water and land are causes of serious water problems in watersheds. Considering the relevance of the knowledge of hydrological behavior and land use coverage and of the absence of the Pardo River Basin Committee, this study aimed to evaluate the hydrological behavior of the Pardo river basin, based on the estimates of the consumptive uses of water and the influence of the vegetal cover on the minimum flows, Average and maximum of the river. The spatial distribution of annual mean precipitation was analyzed; of annual average reference evapotranspiration; of the minimum flows, average of long duration, maximum and associated to the permanence of 90%; of specific long-term average flows; of the drainage coefficient in 10 fluviometric stations located in the Pardo river basin. For the estimation of withdrawal flows and consumed by irrigation and urban human, rural and animal human supplies, data obtained from IBGE and FAO Bulletin 24 were used in the case of crop-related data for irrigation calculations. For the study of land use and cover along the basin, six Landsat satellite images from the year 2011 were used, with spatial resolution of 30 meters, and were treated using ArcGIS software. The quantitative analysis of the data was performed using the statistical procedure of simple linear regression, adopting as dependent variable the flows and independent variables the percentage of forest in the drainage area of each fluviometric station, and multiple linear regression, adopting as a dependent variable the maximum flows. And independent variables were the drainage area and the forested area of each sub-basin. The results showed that mean annual rainfall and mean long - duration specific flow rates behaved in a similar way, presenting higher values closer to the mouth, decreasing in the central region of the basin; The maximum, minimum and medium flows of long duration increased towards the mouth; In general, the total consumed by the four user segments was very expressive with respect to the

average long-term flow, irrigation being the the segment that consumes the most water in the basin, varying between 95,8 and 99,1% of the total consumed; The irrigation withdrawal rate reached 87,2% of the observed  $Q_{7,10}$ , 48,6% of the natural  $Q_{7,10}$  and 92,6% of the  $Q_{90}$  at the Inhobim station; The areas under pasture represent the predominant land use category in the basin; And, in general, the quantitative analysis was able to define the relationships between the forest percentage and the hydrological behavior, the percentage of forest being the most influential in the river flows.

**Keywords:** water management, vegetation cover, water use.

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda pela água é um fato mundialmente relevante que vem crescendo desde o início do século XX, período caracterizado pelo desenvolvimento econômico e pelo crescimento populacional. Porém, este recurso natural é considerado limitado e sua disponibilidade vem se tornando uma questão preocupante para muitos países (ALENCAR et al., 2006). Estes fatos, concomitantes à má distribuição (temporal e espacial) e ao mau uso da água, bem como a ampliação da área irrigada, têm causado problemas graves a este recurso natural. Isso de certo modo contribuiu para a valoração mundial da gestão dos recursos hídricos e aumentou a busca por soluções para o uso racional e equilibrado, a fim de garantir a conservação e sustentabilidade deste bem comum.

Além disso, a poluição dos rios e os diferentes sistemas de uso e manejo do solo também são problemas muito importantes e devem ser considerados nas tentativas de solucionar os impactos nos processos hidrológicos terrestres, pois acarretam na má qualidade da água para consumo humano e para os mais diversos usos, além da redução ou aumento das vazões máximas, mínimas e médias de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2006).

No entanto, mesmo após a introdução de melhorias para o gerenciamento dos recursos hídricos, é crescente o número de conflitos nacionais envolvendo os diversos segmentos de usuários da água (OLIVEIRA e FIOREZE, 2011), transformando-a em um fator limitante para o desenvolvimento sustentável (PRUSKI et al., 2007).

Vale destacar que, a fim de solucionar os problemas existentes em uma bacia hidrográfica, deve ser considerado o uso e cobertura da terra, diretamente relacionado com as condições de conservação do solo e da água, assim como a interligação entre todos os trechos do rio (LIMA, 2008). Além do mais, todas as atividades antrópicas, ligadas ao uso da terra e dos recursos naturais em geral, devem ser orientadas e organizadas considerando a delimitação natural da bacia hidrográfica, a fim de se evitar que a qualidade da água e do solo seja afetada por tais formas de uso (BROOKS et al., 1991). Diante disso, o uso correto dos recursos naturais da bacia e a aplicação mais adequada das técnicas e práticas de manejo sustentável do solo e da água devem ser adotados, como a construção de bacias de

retenção de água pluvial e de terraços, recuperação de áreas degradadas, manutenção das florestas nos topos de morro e nos locais com maior declividade, tratamento e destinação final para os efluentes domésticos e industriais, para que seja promovida uma melhoria na qualidade e na quantidade de água.

A bacia hidrográfica do rio Pardo abrange dois estados brasileiros, Bahia e Minas Gerais, e os recursos hídricos de toda a sua extensão têm sofrido muitas mudanças nos últimos anos, devido ao aumento das atividades voltadas à agropecuária, uso da terra, captação da água, lançamento do lixo doméstico e construção de barragens (SAMPAIO, 2013). Desse modo, é de extrema importância o conhecimento da distribuição da disponibilidade deste recurso na bacia para a gestão hídrica e de uso da terra.

A irrigação é um dos principais usuários de água da bacia e, dentre as atividades de uso consuntivo, quando a água que é captada retorna parcialmente para o curso d'água, cita-se também o abastecimento humano urbano e rural e a dessedentação animal. O uso irracional deste recurso e a ocupação desordenada do solo geram diversos impactos ambientais negativos, dentre eles o assoreamento e a diminuição das vazões mínimas e o aumento da vazão máxima dos rios que drenam a região. Diante disso, os estudos hidrológicos são fundamentais no manejo de bacias hidrográficas, pois, a partir deles, pode-se controlar e administrar o volume de água captado e armazenado, o período e a finalidade de cada captação.

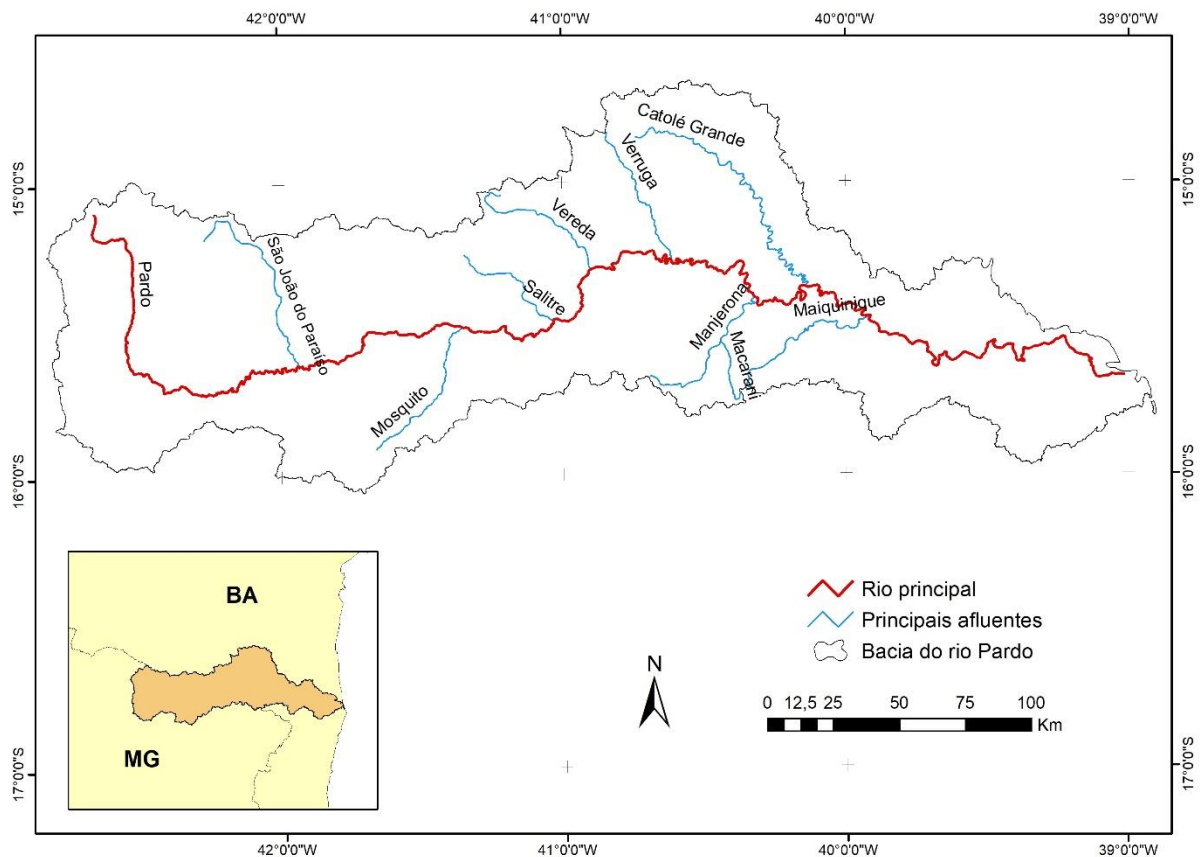
Uma forma de controlar e manter a sustentabilidade da competição pelo uso da água é criar um conjunto de regras para alocação deste recurso, que se dá por meio dos Comitês de Bacias Hidrográficas. Vale destacar que a bacia do rio Pardo não possui Comitê de Bacias, todavia, de acordo com Deliberação Normativa do CERH/MG, nº 06/2002 e suas alterações, ela foi considerada como uma Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH, PA1 - rio Mosquito, com a finalidade de implantar os instrumentos da Política Estadual e da gestão descentralizada dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais, não havendo nenhum sistema de gestão no estado da Bahia. Assim, tendo em vista a importância do comportamento hidrológico e da cobertura do uso da terra de uma bacia hidrográfica na gestão dos recursos hídricos, este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Pardo, com base nas

estimativas dos usos consuntivos da água e a influência da cobertura vegetal nas vazões mínimas, médias e máximas do rio, entre os anos de 1984 a 2013.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Bacia hidrográfica do rio Pardo

A bacia hidrográfica do rio Pardo possui área de 32.627 km<sup>2</sup>, abrangendo parte dos estados da Bahia e Minas Gerais (Figura 1), englobando 35 municípios, dos quais 22 estão situados no estado da Bahia e 13 no estado de Minas Gerais. O rio Pardo é de domínio da União e sua regulação é realizada pela ANA. A bacia está localizada entre as coordenadas 16°0'0" e 15°0'0" de latitude sul e 43°0'0" e 39°0'0" de longitude oeste. Possui uma área de drenagem compreendida entre a foz do rio de Contas (ao norte) e a foz do rio Jequitinhonha (ao sul) (GASSER, 2012).



**Figura 1** – Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Pardo.  
Fonte: elaborado pela autora (2017).

Localizado na Região Hidrográfica Atlântico Leste, o rio Pardo percorre 565 km, sendo 220 km em território mineiro e 345 km em território baiano, e seus principais afluentes são: pela margem esquerda, o ribeirão do Salitre, riacho da



Vereda e os rios São João do Paraíso, Verruga e Catolé Grande, e, pela margem direita, os rios Mosquito, Manjerona, Macarani e Maiquinique.

A pluviosidade da bacia varia de acordo com sua localização, sendo que a precipitação na parte oeste se concentra no verão, enquanto que o volume de chuva é maior durante o decorrer do ano na parte leste da bacia. O ecossistema predominante da região da bacia do rio Pardo é a Floresta Ombrófila Densa, conhecida também por floresta pluvial tropical (Mata Atlântica) (GASSER, 2012). De acordo com Sampaio e Vargas (2011), a bacia do rio Pardo em toda a sua extensão pelo território baiano tem sofrido bastante alteração nos últimos anos. Isso se deve, principalmente, ao aumento das atividades voltadas para a agricultura e a pecuária, da ocupação irregular e desordenada do uso da terra e lançamento do lixo doméstico, que causam uma degradação ambiental cada vez mais notável na região ciliar e dentro do próprio rio. Além disso, cita-se o lançamento direto de esgotos no rio Verruga, afluente do rio Pardo, provenientes de indústrias e de matadouros clandestinos.

Segundo Sampaio (2013), as atividades verificadas na bacia, relacionadas ao uso da água são: irrigação, abastecimento público para usos urbano e rural; pesca artesanal, piscicultura, dessedentação de animais, corpo receptor de efluentes industriais e domésticos, recreação e navegação na foz do rio, bem como lazer e turismo na faixa litorânea. As principais atividades, consideradas mais impactantes dentro da bacia são aquelas associadas ao lançamento de efluentes líquidos, doméstico e industrial, e resíduos sólidos diretamente nos cursos d'água. Além do mais, a bacia hidrográfica do rio Pardo não possui Comitê de Bacia.

Atualmente, apenas a bacia do rio Mosquito, um de seus principais afluentes, possui Comitê de Bacia. Braga (2003) defende que o processo de urbanização e as alterações causadas pelo uso desequilibrado e incorreto do solo causam um dos impactos antrópicos mais relevantes no ciclo hidrológico, pois podem causar o assoreamento e o aumento ou redução das vazões dos cursos d'água. Assim, o avanço da urbanização sobre o meio natural, de maneira desordenada, tem causado a degradação progressiva de áreas de mananciais remanescentes, com a implantação de loteamentos irregulares e a instalação de usos e índices de ocupação incompatíveis com a capacidade de suporte do meio, além de inundações geradas por projetos mal elaborados de drenagem.

## **2.2. Gestão Integrada de Recursos Hídricos x Uso e Cobertura da Terra**

O crescimento desordenado da demanda pela água vem causando vários problemas relacionados à escassez deste recurso natural, além de conflitos entre os diversos segmentos de usuários. O uso eficiente da água é de grande importância para a manutenção deste recurso no planeta, a fim de garantir o bem-estar da sociedade. Diante disso, é necessário realizar o gerenciamento adequado dos recursos hídricos e, para isso, deve-se conhecer o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, seus regimes de variação de vazões e, principalmente, suas relações com os agentes econômicos e socioambientais presentes na área de contribuição da bacia (LATUF, 2005). A fim de manter a quantidade e a qualidade da água, têm-se utilizado instrumentos de pagamento por serviços ambientais (PSA), considerados pela FAO (2004) mecanismos promissores para o financiamento da proteção e restauração ambiental (BERNARDES e SOUSA JÚNIOR, 2010). No caso de bacias hidrográficas, usuários dos recursos hídricos pagam para agricultores que fazem a proteção de nascentes e margens de rios. A Agência Nacional de Águas (ANA) desenvolveu o Programa Produtor de Água, que apoia, orienta e certifica projetos que têm como objetivo conservar o solo e a água dos rios no meio rural, melhorando quantitativa e qualitativamente a oferta deste recurso em bacias de grande importância no Brasil (CHAVES et al., 2004).

Segundo Monteiro e Zveibil (2006), o conceito de gestão integrada dos recursos hídricos foi criado devido às complexas interações existentes entre o recurso natural água, a vida e o desenvolvimento, acarretando na necessidade de considerar a água de forma mais ampla, relacionando os aspectos de gestão com o uso dos recursos hídricos e o desenvolvimento socioeconômico e ambiental de uma região.

O termo gestão integrada de recursos hídricos foi amplamente divulgado pelos especialistas da Associação Mundial para a Água (Global Water Partnership) (GWP, 2000), na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, definido como “Processo que promove o desenvolvimento coordenado e o gerenciamento da água, do solo e recursos relacionados, a fim de maximizar os resultados econômicos e o bem-estar social de forma equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais” (GWP, 2000).

De acordo com Latuf (2005), o termo “uso da terra” pode ser definido como sendo a forma como o solo é ocupado. Ainda segundo o autor, o levantamento desse uso é muito relevante devido aos impactos ambientais que o uso desordenado pode causar. Dentre os impactos, são citados a redução ou aumento das vazões mínimas, médias e máximas de uma bacia hidrográfica, alteração da qualidade da água, assoreamentos de rios, processos de erosão, inundações, entre outros. Segundo Tucci (2006), as ações antrópicas podem comprometer o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, além de causar alterações na qualidade da água. Dentre essas ações, destaca-se o desmatamento, construção de barragens e mudança do uso da terra (SANTOS et al., 2010).

As alterações realizadas na vegetação são de grande significância na vulnerabilidade das bacias hidrográficas, pois podem interferir nas características físicas e químicas do solo, alterando as propriedades da água e do ciclo hidrológico de um curso d’água, no qual é fundamental para a sustentabilidade do ambiente. Segundo Balbinot et al. (2008), a presença da cobertura vegetal torna estável o funcionamento hidrológico na bacia, aumentando a sua capacidade de suportar alterações naturais no ambiente. Além da cobertura vegetal, a declividade também tem influência direta no escoamento superficial e na quantidade de água que fica retida no solo, dentre outros, e são fatores muito relevantes na tomada de decisão e no manejo adequado da bacia hidrográfica (CARDOSO et al., 2006).

Para garantir a qualidade e a quantidade dos recursos que a bacia hidrográfica pode oferecer, Borsato e Martoni (2004) defendem que é necessário administrar a disponibilidade e uso dos rios, além de obter conhecimento do grau de impacto existente, para então, criar processos de gerenciamento para sua recuperação e/ou conservação. Logo, a realização de pesquisas em bacias hidrográficas se dá, principalmente, pela necessidade de se compreender o funcionamento dos processos que controlam o movimento hidrológico e os impactos causados nas mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade desse recurso (WHITEHEAD e ROBINSON, 1993).

### **2.3. Importância da análise do comportamento hidrológico e da estimativa do uso consuntivo para a gestão de recursos hídricos**

A água é um recurso natural utilizado pelos mais diferentes setores da sociedade, com aplicação para múltiplos usos. Seu uso pode ter caráter consuntivo, quando a água que é captada do curso d'água superficial ou subterrâneo retorna parcialmente ao manancial de origem, e não-consuntivo, que não altera as vazões do rio, mas pode gerar impactos na qualidade da água. Como atividades de uso consuntivo, pode-se citar irrigação, abastecimento público para usos urbano e rural, dessedentação de animais, entre outros. Enquanto que a geração de energia elétrica, navegação, recreação e harmonia paisagística e aquicultura são exemplos de atividades de uso não-consuntivo.

As ações antrópicas, sejam elas relacionadas a usos consuntivos ou não-consuntivos, podem alterar o regime hidrológico de uma bacia hidrográfica. Segundo Tucci (2006), a irrigação é o principal usuário de água, atingindo cerca de 63% da demanda, seguido pelos abastecimentos humano urbano e rural (18%), setor industrial (14%) e uso animal (5%). A estimativa da quantidade de água retirada dos mananciais pelos diversos usuários deste recurso é de suma relevância, pois fornece informações importantes para tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos, uma vez que permite quantificar e identificar as áreas em que este recurso está disponível ou pode vir a se tornar escasso.

De acordo com a Lei 9.433/97 (Política Nacional de Recursos Hídricos), a água é reconhecida como bem econômico e recurso natural limitado. Essa Política estabeleceu, dentre outros instrumentos, a cobrança pelo uso da água, objetivando o uso racional, determinando valores a serem cobrados pelos usos da água para captação ou lançamento de efluentes, e que, em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais.

Vale ressaltar que as mudanças decorrentes do uso da terra trazem consequências para os sistemas biofísicos em diversas escalas (COSTA FILHO, 2014). Ainda de acordo com o autor, os efeitos dessas mudanças são mais frequentemente observados nas mudanças climáticas e na perda de habitats. Além disso, cita-se a ação antrópica como grande impactante no ciclo hidrológico em uma

bacia hidrográfica (BORMANN et al., 2007), pois promovem alterações significativas na disponibilização da água nos processos da infiltração e do escoamento superficial, aumentando a impermeabilização e dificultando o processo de drenagem.

Segundo Rodriguez (2004), é de suma relevância conhecer o comportamento temporal e espacial da precipitação e das vazões de retirada dos diferentes tipos de uso da água, visto que isso auxilia no processo de tomada de decisão e no gerenciamento dos recursos hídricos. A análise do comportamento hidrológico permite quantificar as disponibilidades temporal e espacial dos recursos hídricos, identificando, assim, as áreas propícias à escassez deste recurso.

Para a execução de estudos hidrológicos, é necessário calcular as vazões mínimas, médias e máximas (OLIVEIRA et al., 2007). A vazão máxima, associada ao tempo de retorno, está diretamente relacionada à probabilidade de ocorrer inundação em determinada bacia, além de ser utilizada no dimensionamento de obras hidráulicas. A vazão média de longa duração é utilizada para quantificar a disponibilidade de água na bacia, além de calcular o volume de regularização. Já a vazão mínima permite avaliar a disponibilidade hídrica na elaboração de projetos hidrelétricos e de irrigação e concessão de uso da água para uma dada finalidade (PRUSKI et al., 2006).

As vazões máximas e mínimas dos cursos d'água podem apresentar tendências de incrementos ou de redução em prazos mais ou menos longos. Avaliar tais tendências é importante para identificar possíveis influências ocasionadas pelas mudanças do uso da terra (SANTOS e FERREIRA, 2014).

As vazões máximas, caracterizadas pela frequência da sua ocorrência, estão particularmente associadas aos riscos de inundação em uma bacia e à definição das vazões de projeto de obras hidráulicas de controle de enchentes. Ela é utilizada nos estudos voltados para os projetos dos vertedores de barragens, dos canais de drenagem, dos bueiros e galerias de águas pluviais, dos diques e dos vãos de pontes, entre outros (BARBOSA et al., 2005).

A vazão média indica o potencial energético da bacia hidrográfica e representa a maior vazão passível de ser regularizada, já a vazão mínima é caracterizada pela sua duração e frequência (ou período de retorno), ressaltando-se que o seu estudo é imprescindível por envolver a capacidade natural de

autodepuração do curso d'água e, também, para avaliar a possibilidade de concessão do uso da água para uma dada finalidade (BARBOSA et al., 2005).

Sendo assim, Melo Neto (2012) ressalta que a análise das séries de vazão de uma bacia, com base na compreensão dos diversos fenômenos e processos que o regem, é fundamental para o desenvolvimento de ações de exploração e conservação dos recursos hídricos tornando fundamental a separação dos componentes do ciclo hidrológico e a indicação das inter-relações com o ambiente no qual interagem a fim de caracterizar o comportamento dinâmico da água na paisagem.

#### **2.4. Levantamento do uso da terra a partir do sensoriamento remoto**

O levantamento do uso e cobertura da terra de determinada região é muito importante para a compreensão dos padrões de organização do espaço (SILVA e FRANÇA, 2013). Assim, a atualização contínua dos registros de uso da terra é fundamental, a fim de garantir que suas tendências possam ser quantificadas, espacializadas e analisadas.

De acordo com Latuf (2005), para a elaboração do mapeamento e monitoramento da superfície terrestre, é comum o uso de imagens de satélite produzidas por sensores remotos, tornando-se muito relevante nos últimos anos, principalmente devido ao desenvolvimento de técnicas e programas de computador para a análise e manipulação digital destes produtos. Tais imagens podem ser utilizadas na classificação e uso da terra, levantamento dos recursos naturais e monitoramento dos problemas ambientais em uma região, de uma bacia ou de uma microbacia hidrográfica (SANTOS, 2010). Deste modo, as geotecnologias são muito eficazes na identificação de problemas ambientais e no planejamento e criação de políticas voltadas à preservação do meio ambiente (ALMEIDA et al., 2009).

Segundo Novo (1999), o sensoriamento remoto é considerado uma ferramenta muito útil devido à possibilidade de gerar um grande número de informações em um curto espaço de tempo. Vale destacar que, segundo Richards e Jia (2006), a qualidade do mapa de uso e cobertura do solo depende das características do sensor da imagem de sensoriamento remoto, principalmente da

resolução espacial da mesma, e do método de classificação utilizado, que pode ser feito principalmente através da classificação automática ou não automática.

Os sensores podem ser classificados, quanto à fonte de energia, em passivos, que detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos objetos da superfície, dependendo, portanto, de uma fonte de radiação externa para que possam operar, e ativos, que produzem sua própria radiação (NOVO, 1999).

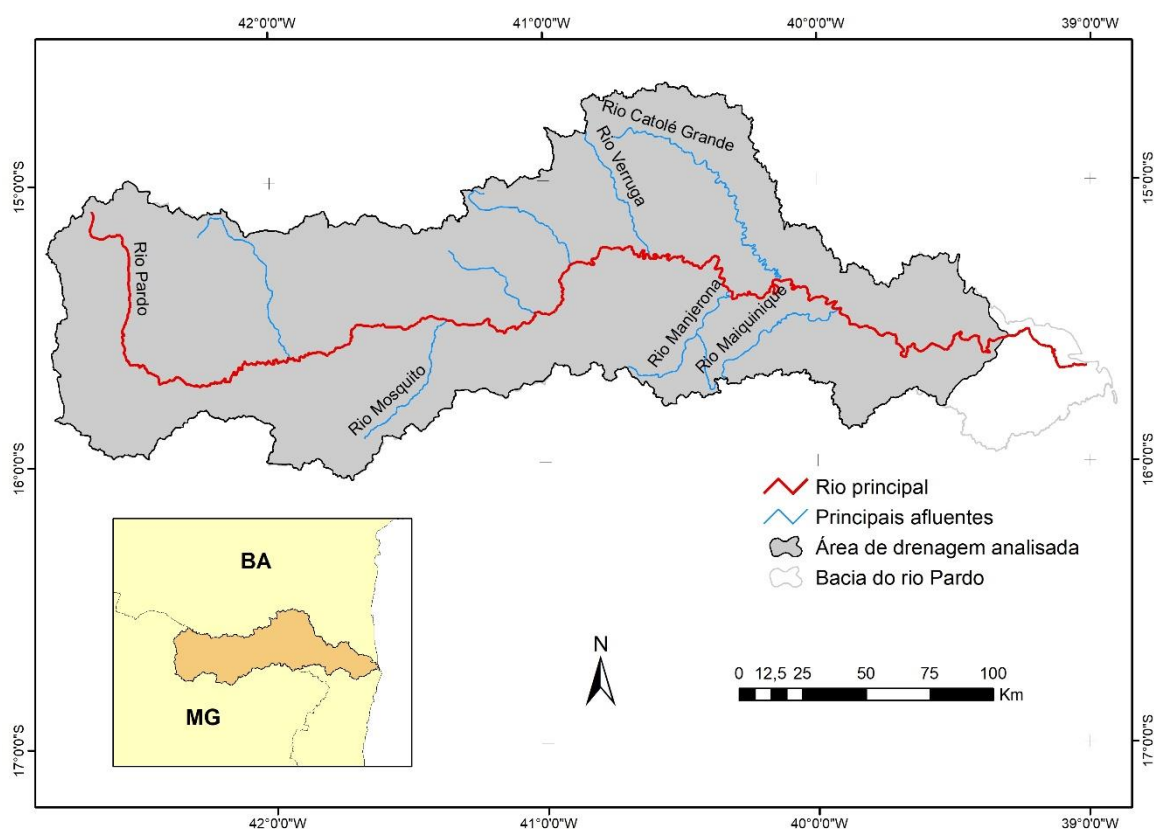
Como dito anteriormente, os sistemas passivos dependem das condições atmosféricas. Deste modo, o processo de aquisição de dados é diretamente influenciado pela presença de nuvens. São exemplos destes sistemas os sensores LANDSAT (Agência Espacial Norte-Americana), SPOT (Agência Espacial Francesa), CBERS (Programa Espacial Brasileiro e Agência Espacial Chinesa) e IKONOS (Agência Espacial Norte-Americana).

Segundo Santos (2010), a série Landsat (Land Remote Sensing Satellite) se iniciou em 1972, com o lançamento do satélite ERTS-1 (Earth Resources Technological Satellite-1). Ela teve sequência com os Landsat 2, 3 e 4 e, sobretudo, com os Landsat 5 e 7. O principal objetivo do sistema Landsat foi o mapeamento multispectral, em alta resolução da superfície da Terra.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área de estudo

O rio Pardo é considerado um rio Federal, pois banha mais de um estado. Nasce no município de Montezuma, na Serra do Espinhaço, no estado de Minas Gerais e termina seu curso no município de Canavieiras, no estado da Bahia, desaguando no Oceano Atlântico. A área de estudo (Figura 2) foi definida com base nos dados fluviométricos disponíveis na rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), conforme critério de seleção adotado no presente estudo.



**Figura 2** – Área de estudo considerada na bacia do rio Pardo.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

A vegetação da região vem sendo desmatada constantemente devido às práticas de uso e cobertura da terra, sendo substituída por pastagens e pela agricultura. Os recursos hídricos estão sendo utilizados, principalmente, nas práticas de irrigação, abastecimento público urbano e rural e dessedentação de animais.



### 3.2. Análise do comportamento hidrológico na bacia do Pardo

Para a realização deste trabalho foram utilizados e analisados dados de dez estações fluviométricas (Tabela 1), localizadas ao longo da bacia do rio Pardo, nos estados da Bahia e Minas Gerais, pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). Para selecionar as estações, estabeleceu-se como critério que os dados fossem consistidos e a sua série histórica contemplasse pelo menos 10 anos de dados diários, dentro do período do estudo, entre 1984 a 2013.

**Tabela 1** – Estações fluviométricas utilizadas no estudo pertencentes à bacia hidrográfica do rio Pardo

Código	Estado	Estação	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Curso d'Água
53490000		Fazenda Benfica	-15°41'53"	-42°10'19"	5525,24	Rio Pardo
53540001	MG	Vereda do Paraíso	-15°29'37"	-41°27'01"	10822,57	Rio Pardo
53620000		Cândido Sales	-15°30'48"	-41°14'12"	13016,95	Rio Pardo
53630000		Inhobim	-15°20'23"	-40°55'58"	16372,84	Rio Pardo
53650000		Itambé	-15°14'54"	-40°37'52"	18502,21	Rio Pardo
53690000		Couro Dantas	-15°23'28"	-40°03'58"	26055,89	Rio Pardo
53732000	BA	Caatiba - (Fazenda São Paulo)	-14°58'46"	-40°21'51"	1885,27	Rio Catolé Grande
53780000		Itapetinga	-15°14'29"	-40°14'00"	2853,02	Rio Catolé Grande
53880000		Fazenda Nancy	-15°36'14"	-39°31'00"	29592,64	Rio Pardo
53950000		Mascote	-15°33'32"	-39°18'29"	30657,96	Rio Pardo

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Os dados de precipitação (mm) e evapotranspiração (mm) mensal do período de 1984 a 2013, para a área considerada no estudo, foram obtidos a partir do estudo desenvolvido por Xavier et al. (2015), onde os autores criaram uma grade com resolução espacial (0,25° x 0,25°) e temporal (diária e mensal) para todo o território nacional, com valores dos principais componentes meteorológicos (precipitação, velocidade do vento, radiação solar global, evapotranspiração, umidade relativa e temperatura do ar). A evapotranspiração de referência foi estimada usando o método Penman-Monteith FAO 56.

### 3.2.1. Preenchimento de falhas e extensão das séries fluviométricas

Após a verificação e análise preliminar dos dados, que consiste na eliminação e correção de erros grosseiros, foi realizado o preenchimento de falhas das séries históricas de dados diários de vazão, obtidos da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). O preenchimento foi realizado com uso da regressão linear simples, conforme a Equação 1, entre os dados observados no período comum entre as estações que possuem falhas e a estação de apoio, sendo que a estação de apoio foi definida de acordo com os critérios de semelhança climatológica entre as áreas das estações e  $R^2 \geq 0,7$ .

$$Q_y = a + b Q_x \quad (1)$$

Onde:

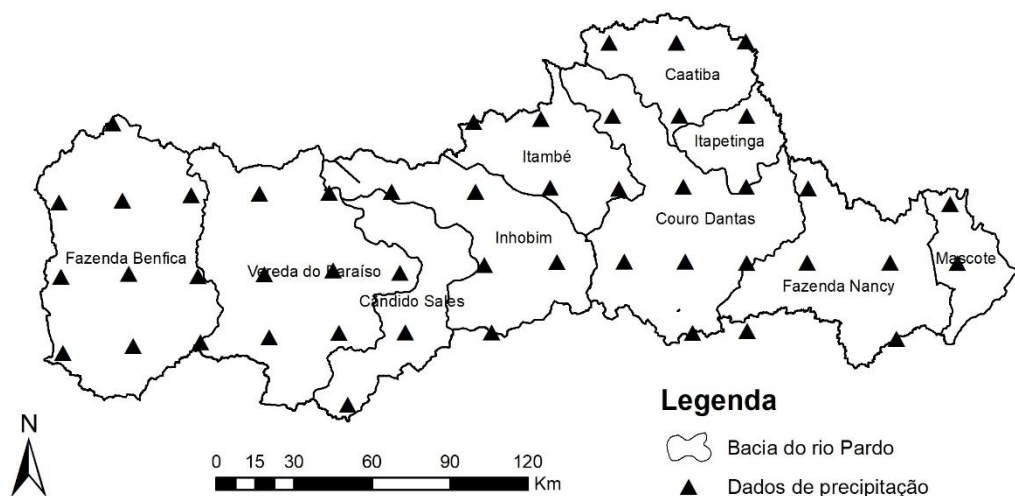
$Q_y$  = Vazão da estação com falhas ( $m^3 s^{-1}$ );

$Q_x$  = Vazão da estação de apoio ( $m^3 s^{-1}$ ); e

a,b = Parâmetros ajustados na regressão (adimensional).

### 3.2.2. Precipitação média anual

Para o cálculo da precipitação média anual da área de drenagem de cada estação fluviométrica, foi realizada a soma da média mensal de todos os anos de cada ponto de grade e, posteriormente, a média das precipitações anuais de todos os pontos localizados dentro área de influência de cada posto considerado no estudo (Figura 3).



**Figura 3** – Localização dos dados de precipitação (mm) ao longo da bacia.  
 Fonte: elaborado pela autora (2017).

A bacia hidrográfica do rio Pardo e a área de influência de cada sub-bacia foram delimitadas de forma automática, a partir de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), obtidos junto ao USGS.

### 3.2.3. Estimativa de vazões mínimas, máximas e médias

A vazão média anual de longo período para cada estação estudada foi calculada pela média das vazões médias anuais. A vazão máxima anual definida como sendo o maior valor da vazão diária para cada ano considerado, enquanto que a vazão mínima utilizada neste estudo foi a vazão mínima anual observada num período de sete dias consecutivos, identificada para cada ano considerado no estudo. Para a obtenção das vazões mínima, média e máxima, utilizou-se o Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH 1.0), desenvolvido por Sousa et al. (2009), que permite importar dados de arquivos obtidos do site da ANA, e, a partir da geração de funções de distribuição de probabilidade, foram obtidas as variáveis acima citadas. Para a representação das vazões mínimas, foram utilizados dois índices:  $Q_{7,10}$  e  $Q_{90}$ .

Seguindo o método utilizado por Pruski et al. (2007), a  $Q_{7,10}$  foi estimada a partir da seleção de distribuições de probabilidade entre os métodos de Gumbel, Log-normal a dois e três parâmetros, Pearson III e Log-Pearson tipo III. Para

selecionar a melhor distribuição foram analisados o desvio padrão e o teste de Kolmogorov-Smirnov, por ser considerado o teste mais significativo. Enquanto que a  $Q_{90}$  foi obtida a partir da curva de permanência de cada estação fluviométrica. Após a obtenção da  $Q_{90}$ , foi realizada uma comparação dessas vazões com a  $Q_{7,10}$ .

#### **3.2.4. Coeficiente de deságue**

O coeficiente de deságue foi utilizado neste trabalho para caracterizar a relação entre o volume total da água que escoar na seção de deságue durante o ano considerado e o volume total precipitado que contribui para a seção de deságue. Da quantidade total de precipitação que ocorre numa bacia, uma parte é interceptada pela vegetação, outra preenche as depressões e a outra sofre o processo de infiltração no solo, que, posteriormente, percola até os lençóis subterrâneos ou sofre o processo de evapotranspiração. O coeficiente de deságue foi calculado pela seguinte equação:

$$C = \frac{V_{T(\text{esc})}}{V_{T(\text{precip})}} \quad (2)$$

Onde:

C = Coeficiente de deságue (adimensional);

$V_{T(\text{esc})}$  = Volume total que escoar na seção de deságue durante o ano considerado ( $\text{m}^3$ ); e

$V_{T(\text{precip})}$  = Volume total precipitado na bacia de drenagem que contribui para a seção de deságue ( $\text{m}^3$ ).

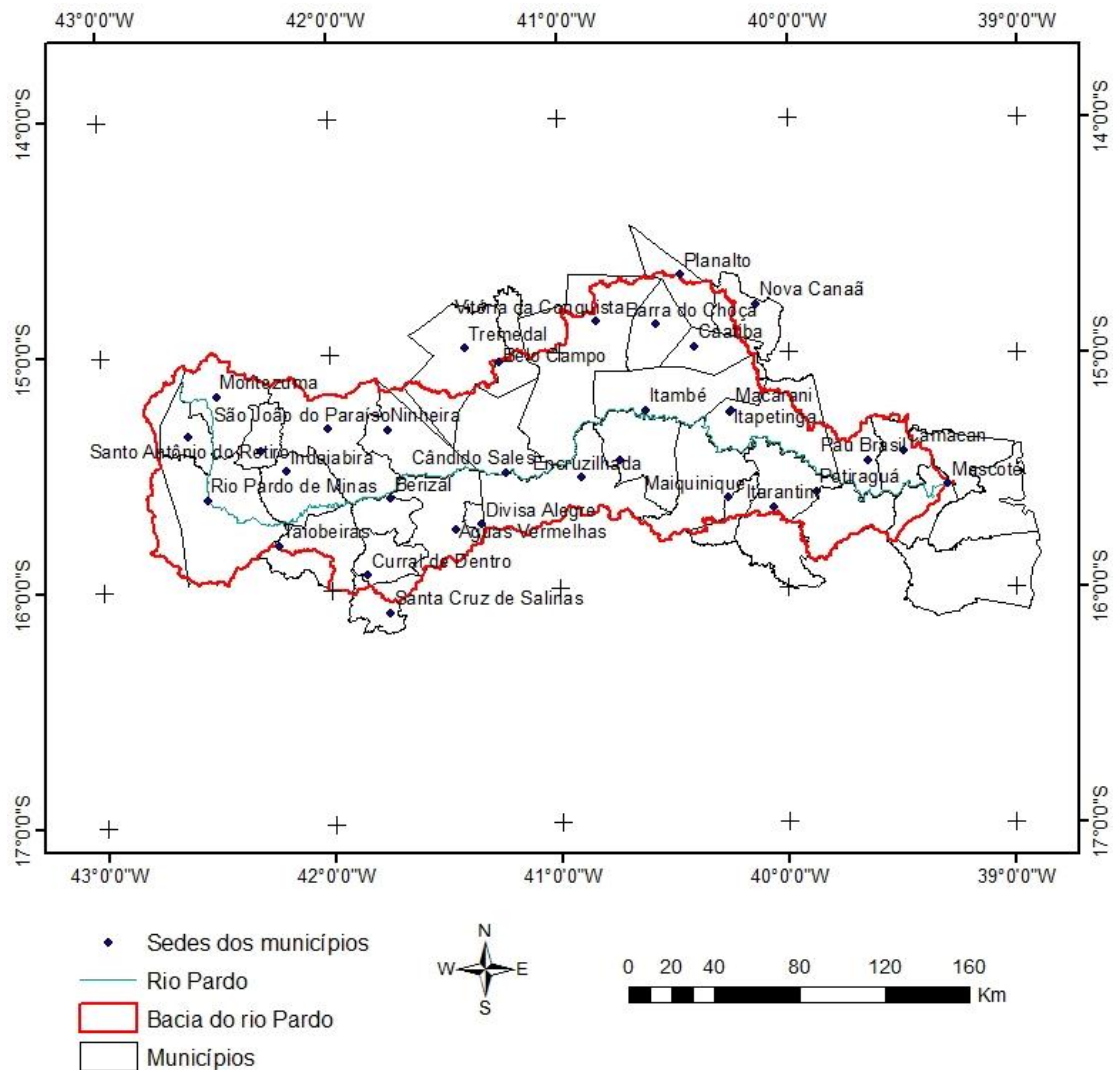
#### **3.3. Vazões de retirada, de retorno e consumida por quatro segmentos de usuários**

Para a elaboração dos cálculos das vazões de retirada, de retorno e consumida, foram considerados quatro segmentos de usuários, quais sejam, a irrigação, os abastecimentos animal, humano urbano e o humano rural, adotando-se, em parte, os procedimentos propostos por Rodriguez (2004). Ressaltando que foram feitas algumas adaptações para a bacia considerada no estudo.

O volume de água captado foi considerado como vazões de retirada, o volume de água lançado diretamente nos cursos d'água após seu uso foi considerado como vazões de retorno e as vazões consumidas foram estimadas através da diferença entre as vazões de retirada e as de retorno.

Todas as estimativas de vazões foram realizadas considerando-se cada município pertencente à área de drenagem referente a cada posto fluviométrico. O volume de água captado por cada segmento de usuário foi obtido a partir da soma das vazões de todos os municípios inseridos na área de drenagem considerada.

Ainda segundo Rodriguez (2004), para o cálculo do volume de água captado para o abastecimento humano urbano, foi considerado o critério de localização da sede do município com relação à área de drenagem analisada. Se está inserida (Figura 4) toda a população abastecida está nesta área; logo, todo o volume de água captado foi computado nessa área de drenagem. Dentre os municípios que possuem sedes inseridas na área de drenagem considerada no estudo, cita-se: Águas Vermelhas, Berizal, Curral de Dentro, Divisa Alegre, Indaiabira, Montezuma, Ninheira, Rio Pardo de Minas, Santo Antônio do Retiro, São João do Paraíso, Taiobeiras, Vargem Grande do Rio Pardo, Barra do Choça, Belo Campo, Caatiba, Camacan, Cândido Sales, Encruzilhada, Itambé, Itapetinga, Itarantim, Macarani, Maiquinique, Pau Brasil, Potiraguá, Ribeirão do Largo e Vitória da Conquista.



**Figura 4** – Municípios pertencentes à bacia do rio Pardo e localização de suas respectivas sedes.  
 Fonte: elaborado pela autora (2017).

Para o cálculo do volume de água captado para os demais segmentos (irrigação e abastecimentos animal e humano rural), foi considerado o critério de proporcionalidade com relação à área do município na área de drenagem considerada. Na Tabela 2, estão apresentados os municípios pertencentes à bacia, as respectivas áreas e a porcentagem dessas áreas dentro da bacia.

**Tabela 2** – Municípios pertencentes à bacia do rio Pardo, localizados na Bahia e Minas Gerais e suas respectivas áreas (IBGE, 2010).

Estado	Municípios	Área do município (km <sup>2</sup> )	% da área do município pert (Conclusão)
BA	Barra do Choça	778,27	100
	Belo Campo	608,97	53,14
	Caatiba	655,4	80,26
	Camacan	632,47	100
	Cândido Sales	1302,28	100
	Encruzilhada	2041,78	100
	Itambé	1625,45	98,95
	Itapetinga	1608,76	80,92
	Itarantim	1782,88	52,47
	Macarani	1371,32	100
	Maiquinique	413,72	53,70
	Mascote	708,73	59,41
	Nova Canaã	757,16	23,88
	Pau Brasil	609,10	100
	Planalto	722,86	74,08
	Potiraguá	988,85	100
	Ribeirão do Largo	1222,12	100
Tremedal	1781,04	10,97	
Vitória da Conquista	3205,13	77,94	
MG	Águas Vermelhas	1258,87	100
	Berizal	494,01	100
	Curral de Dentro	571,28	100
	Divisa Alegre	118,57	100
	Indaiabira	1010,21	100
	Montezuma	1130,96	100
	Ninheira	1115,64	99,13
	Rio Pardo de Minas	2319,46	100
	Santa Cruz de Salinas	588,09	36,49
	Santo Antônio do Retiro	586,07	100
	São João do Paraíso	1924,49	100
	Taiobeiras	1196,42	69,07
Vargem Grande do Rio Pardo	495,22	100	

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Para a obtenção das porcentagens das áreas dos municípios contidas em cada uma das áreas de drenagem das estações fluviométricas e da localização de cada sede municipal, foi necessário realizar a sobreposição da malha municipal sobre o mapa referente a cada uma das áreas de drenagem.

Além disso, durante o período considerado no estudo, alguns municípios pertencentes à bacia do rio Pardo foram emancipados, variando, assim, as áreas de cada um e suas porcentagens dentro da área de drenagem de cada estação fluviométrica. Dentre as emancipações ocorridas durante o período analisado, pode-se citar a do Ribeirão do Largo, desmembrado de Encruzilhada em 1990, de Montezuma em 1993 (desmembrado de Rio Pardo de Minas) e em 1997, dos

municípios de Berizal (desmembrado de Taiobeiras), Curral de Dentro e Divisa Alegre (desmembrados de Águas Vermelhas), Indaiabira, Santo Antônio do Retiro e Vargem Grande do Rio Pardo (desmembrados de Rio Pardo de Minas), Ninheira (desmembrado de São João do Paraíso) e Santa Cruz de Salinas (desmembrado de Salinas).

### 3.3.1. Irrigação

Seguindo a metodologia proposta por Rodriguez et al. (2007), o volume de água captado por este segmento foi estimado com base na irrigação total necessária e na área irrigada de cada cultura, mensalmente, no município considerado, sendo determinada pela seguinte equação:

$$Q_{m,i} = \sum_{i=1}^{cn} \left( \frac{ET_{rc,m,m} - P_{ef,m,m}}{Ea} \right) A_{m,i,c,m} 10.000 \quad (3)$$

Onde:

$Q_{m,i}$  = Volume de água captado pela irrigação no município ( $L d^{-1}$ );

$ET_{rc,m,m}$  = Evapotranspiração real da cultura no município para cada mês ( $mm d^{-1}$ );

$P_{ef,m,m}$  = Precipitação efetiva no município ao mês ( $mm d^{-1}$ );

$Ea$  = Eficiência de aplicação (adimensional);

$A_{m,i,c,m}$  = Área irrigada para a cultura no município e em cada mês (ha); e

$cn$  = Número de culturas irrigadas no município.

A evapotranspiração real mensal de cada cultura foi obtida pela equação:

$$ET_{rc,m,m} = ET_{o,m,m} K_c K_s \quad (4)$$

Onde:

$ET_{rc,m,m}$  = Evapotranspiração real da cultura no município para cada mês ( $mm d^{-1}$ );

$ET_{o,m,m}$  = Evapotranspiração de referência no município ao mês ( $mm d^{-1}$ );



$K_c$  = Coeficiente da cultura (adimensional); e

$K_s$  = Coeficiente que depende da umidade do solo (adimensional).

As áreas irrigadas para cada cultura em cada mês foram calculadas a partir de dados dos censos agropecuários realizados no período entre 1985 a 2006 (último ano de censo).

A evapotranspiração real das culturas foi estimada com base na evapotranspiração de referência, obtida a partir dos dados desenvolvidos por Xavier et al. (2015). Os coeficientes de cultura para cada estágio de desenvolvimento foram obtidos no Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998), dispostos nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3 – Coeficientes de cultura para lavouras temporárias consideradas**

Cultura temporária	Kc médio
Abacaxi	0,33
Abóbora, moranga, jerimum	0,76
Algodão herbáceo	0,69
Alho	0,82
Amendoim em casca	0,70
Batata-inglesa	0,77
Cana-de-açúcar	0,87
Cebola	0,84
Ervilha em grão	0,93
Fava em grão	0,64
Feijão preto em grão	0,59
Feijão de cor em grão	0,59
Feijão fradinho em grão	0,61
Feijão verde	0,79
Gergelim (semente)	0,55
Girassol (semente)	0,60
Mamona	0,68
Mandioca (aipim, macaxeira)	0,53
Melancia	0,73
Melão	0,64
Milho em grão	0,59
Soja em grão	0,70
Sorgo em grão	0,63
Tomate rasteiro (industrial)	0,83
Sementes de feijão (produzidas para plantio)	0,61

Fonte: FAO Irrigation and Drainage Paper, 56 (1998) e banco de dados do Sistema para Estimativa de Usos Consuntivos da Água – SEUCA (adaptada).

**Tabela 4 – Coeficientes de cultura para lavouras permanentes consideradas**

Cultura permanente	Kc médio
Acerola	1,00
Banana	1,20
Borracha (látex coagulado)	(Conclusão)
Cacau (amêndoa)	.
Café arábica em grão (verde)	0,90
Café canephora (robusta, conilon) em grão (verde)	0,90
Coco-da-baía	1,00
Goiaba	1,00
Laranja	0,80
Limão	0,80
Manga	0,90
Mamão	0,60
Maracujá	0,60
Mudas de café	0,90
Mudas de frutas cítricas (laranja, limão, tangerina, etc.)	0,80

Fonte: FAO Irrigation and Drainage Paper, 56 (1998) e banco de dados do Sistema para Estimativa de Usos Consuntivos da Água – SEUCA (adaptada).

As áreas irrigadas de cada cultura foram obtidas a partir dos dados dos censos agropecuários do IBGE. Cada cultura observada na bacia foi relacionada ao método de irrigação de uso mais frequente ou mais adequado. Para as culturas temporárias, foi considerado o método de irrigação por aspersão, enquanto que, para as culturas permanentes, considerou-se o método de irrigação localizada. Os valores de Ks e de Ea (eficiência de aplicação) para a região estudada foram levantados a partir de informações de levantamentos bibliográficos.

O valor de Ks foi estimado pela equação 5:

$$K_s = \frac{\log(LAA+1)}{\log(CTA+1)} \quad (5)$$

Onde:

LAA = Lâmina atual de água no solo, mm; e

CTA = Capacidade total de armazenamento de água, mm.

Para a obtenção do Ks, foram utilizadas as equações 6 e 7:

$$LAA = CTA \cdot f \quad (6)$$

$$CTA = CAD Z$$

(7)

em que:

- f = Fator de disponibilidade de água quando ainda não há estresse hídrico, adimensional;
- Z = Profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, m; e
- CAD = Capacidade de água disponível,  $\text{mm m}^{-1}$ .

O fator de disponibilidade de água no solo (coeficiente de depleção) varia de 0 a 1 e depende da cultura e das condições climáticas, correspondendo à porcentagem de água disponível no solo para que a cultura não sofra redução expressiva em sua taxa de evapotranspiração máxima. Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os valores de f para as culturas temporárias e permanentes, respectivamente, de acordo com o Boletim FAO 56.

**Tabela 5** – Fator de disponibilidade de água no solo para as culturas temporárias consideradas

Cultura	f
Abacaxi	0,50
Abóbora, moranga, jerimum	0,35
Algodão herbáceo	0,65
Alho	0,30
Amendoim em casca	0,50
Batata-inglesa	0,35
Cana-de-açúcar	0,65
Cebola	0,30
Ervilha em grão	0,35
Fava em grão	0,45
Feijão preto em grão	0,45
Feijão de cor em grão	0,45
Feijão fradinho em grão	0,45
Feijão verde	0,45
Gergelim (semente)	0,60
Girassol (semente)	0,45
Mamona	0,50
Mandioca (aipim, macaxeira)	0,40

Melancia	0,40
Melão	0,40
Milho em grão	0,55
Soja em grão	0,50
Sorgo em grão	0,55
Tomate rasteiro (industrial)	0,40
Sementes de feijão (produzidas para plantio)	0,45

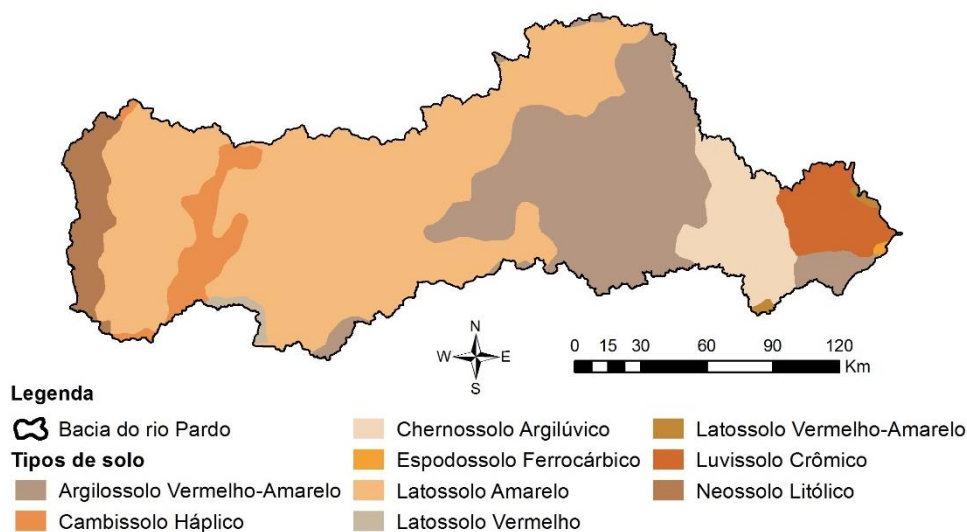
Fonte: FAO Irrigation and Drainage Paper, 56 (1998)

**Tabela 6 – Fator de disponibilidade de água no solo para as culturas permanentes consideradas**

Cultura	f
Acerola	0,50
Banana	0,35
Borracha (látex coagulado)	0,40
Cacau (amêndoa)	0,30
Café arábica em grão (verde)	0,40
Café canephora (robusta, conilon) em grão (verde)	0,40
Coco-da-baía	0,65
Goiaba	0,50
Laranja	0,50
Limão	0,50
Manga	0,50
Mamão	0,50
Maracujá	0,50
Tangerina, bergamota, mexerica	0,50
Mudas de café	0,40
Mudas de frutas cítricas (laranja, limão, tangerina, etc.)	0,50

Fonte: FAO Irrigation and Drainage Paper, 56 (1998).

Na Figura 5, pode-se observar os tipos de solo presentes na bacia estudada (EMBRAPA, 2006). A partir deste levantamento, foi possível determinar os valores de CAD (Capacidade de Água Disponível), com base no estudo realizado por De Albuquerque (2010), em que afirma que a CAD depende da textura e da estrutura do solo, sendo estimada com base na curva de retenção de água do solo de cada região, como apresentado na Tabela 7.



**Figura 5** – Tipos de solo presentes na bacia do rio Pardo.  
 Fonte: elaborado pela autora (2017).

**Tabela 7** – Tipo de solo, classificação textural e valor da capacidade de água disponível

Tipo de solo	Textura	CAD (mm/m)
Argilossolo vermelho-amarelo	Argiloso	230
Cambissolo háptico	Argiloso	230
Neossolo litólico	Arenoso	85
Latossolo amarelo	Silto-argiloso	210
Chernossolo argilúvico	Argiloso	230
Espodossolo ferrocárbico	Arenoso	85
Luvissolo crômico	Franco	170
Latossolo vermelho	Silto-argiloso	210
Latossolo vermelho-amarelo	Silto-argiloso	210

Fonte: Adaptada de Albuquerque (2010).

Os valores atribuídos à eficiência de aplicação ( $E_a$ ) podem ser observados nas Tabelas 8 e 9 para as culturas temporárias e permanentes, respectivamente, das regiões Nordeste e Sudeste.

**Tabela 8** – Eficiência de aplicação da irrigação para as culturas temporárias das regiões Nordeste e Sudeste

<b>Cultura</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sudeste</b>
Abacaxi	0,8	0,8
Abóbora, moranga, jerimum	0,8	0,8
Algodão herbáceo	0,85	0,85
Alho	0,8	0,8
Amendoim em casca	0,8	0,8
Batata-inglesa	0,8	0,8
Cana-de-açúcar	0,8	0,8
Cebola	0,8	0,8
Ervilha em grão	0,8	0,8
Fava em grão	0,8	0,8
Feijão preto em grão	0,8	0,8
Feijão de cor em grão	0,8	0,8
Feijão fradinho em grão	0,8	0,8
Feijão verde	0,8	0,8
Gergelim (semente)	0,8	0,8
Girassol (semente)	0,8	0,8
Mamona	0,8	0,8
Mandioca (aipim, macaxeira)	0,8	0,8
Melancia	0,8	0,8
Melão	0,8	0,8
Milho em grão	0,8	0,8
Soja em grão	0,8	0,85
Sorgo em grão	0,8	0,8
Tomate rasteiro (industrial)	0,8	0,8
Sementes de feijão (produzidas para plantio)	0,8	0,8

Fonte: Censo Agropecuário 2006 – IBGE e N. T. nº 364/2007/GEOOUT/SOF-ANA \*Resolução ANA nº 707/204 (adaptada).

**Tabela 9** – Eficiência de aplicação da irrigação para culturas permanentes das regiões Nordeste e Sudeste

Cultura	Nordeste	Sudeste
Acerola	0,8	0,9
Banana	0,8	0,9
Borracha (látex coagulado)	0,8	0,8
Cacau (amêndoa)	0,9	0,9
Café arábica em grão (verde)	0,85	0,8
Café canephora em grão (verde)	0,85	0,8
Coco-da-baía	0,8	0,9
Goiaba	0,8	0,9
Laranja	0,8	0,9
Limão	0,8	0,9
Manga	0,8	0,9
Mamão	0,8	0,9
Maracujá	0,8	0,9
Tangerina	0,8	0,9
Mudas de café	0,9	0,8
Mudas de frutas cítricas (laranja, limão, tangerina, etc.)	0,9	0,8

Fonte: Censo Agropecuário 2006 – IBGE e N. T. nº 364/2007/GEOOUT/SOF-ANA \*Resolução ANA nº 707/204 (adaptada).

A precipitação efetiva mensal de cada município foi estimada a partir dos dados de precipitação média mensal, utilizando-se o método proposto pelo USDA Soil Conservation Service (USDA-SCS), através das equações descritas abaixo:

$$P_{ef,m,m} = \frac{[P_t(125 - 0,2P_t)]}{125} \quad (P_t < 250 \text{ mm}) \quad (8)$$

$$P_{ef,m,m} = 125 + 0,1P_t \quad (P_t \geq 250 \text{ mm}) \quad (9)$$

Onde:

$P_{ef,m,m}$  = Precipitação efetiva no município ao mês (mmmês<sup>-1</sup>);

$P_t$  = Precipitação total mensal (mmmês<sup>-1</sup>).

A água utilizada em cada tipo de irrigação que foi perdida por percolação ou por escoamento foi considerada como retorno. Assim, a vazão de retorno foi obtida pela equação:

$$Q_{m,i,r} = \sum_{i=1}^{cn} \left( \frac{ET_{rc,m,m} - P_{ef,m,m}}{Ea} \right) A_{m,i,c,m} 10.000 (P_p + P_{esc}) \quad (10)$$

Onde:

$Q_{m,i,r}$  = Vazão de retorno referente à irrigação no município ( $L d^{-1}$ );

$ET_{rc,m,m}$  = Evapotranspiração real da cultura no município para cada mês ( $mm d^{-1}$ );

$P_{ef,m,m}$  = Precipitação efetiva no município ao mês ( $mm d^{-1}$ );

$Ea$  = Eficiência de aplicação (adimensional);

$A_{m,i,c,m}$  = Área irrigada para a cultura no município e em cada mês (ha);

$P_p$  = Perdas por percolação (adimensional); e

$P_{esc}$  = Perdas por escoamento (adimensional).

Quando a precipitação efetiva foi superior à evapotranspiração real da cultura, considerou-se que não houve irrigação naquela cultura, enquanto as perdas por percolação mais as perdas por escoamento ( $P_p + P_{esc}$ ) foram estimadas pela equação:

$$(P_p + P_{esc}) = 1 - P_{evp} - Ea \quad (11)$$

Onde:

$P_p$  = Perdas por percolação (adimensional);

$P_{esc}$  = Perdas por escoamento (adimensional);

$P_{evp}$  = Perdas por evaporação e deriva (adimensional); e

$Ea$  = Eficiência de aplicação (adimensional).

Devido à bacia estar inserida numa região muito quente, adotou-se um valor igual a 10% de perda por evaporação e deriva para os sistemas de irrigação por aspersão. Nos sistemas de irrigação localizada, essa perda foi considerada nula.



### 3.3.2. Abastecimento animal

O volume de água captado para o abastecimento animal foi obtido pela seguinte equação:

$$Q_{m,a} = (P_{m,ay} q_{ay}) \quad (12)$$

Onde:

$Q_{m,a}$  = Volume de água captado para o abastecimento animal no município (L d<sup>-1</sup>);

$P_{m,ay}$  = Número de indivíduos do rebanho para cada espécie animal no município (cab); e

$q_{ay}$  = Vazão per capita para cada espécie animal (L d<sup>-1</sup>cab<sup>-1</sup>).

Com relação ao volume de água captado referente a cada espécie animal, foram utilizadas as vazões per capita por espécie animal (Tabela 10). A vazão de retorno foi considerada como 20% do volume de água captado pelos animais (bovinos, suínos, aves e demais animais de confinamento), como proposto por Rodriguez (2004).

**Tabela 10 – Vazões “per capita” para os principais rebanhos nacionais**

Espécie Animal	Vazão “per capita” (L d <sup>-1</sup> )
Bovino	50
Suíno	12,5
Bubalino	50
Equino	50
Asinino	50
Muar	50
Ovino	10
Caprino	10
Aves*	0,36

Fonte: Adaptado de TELLES, 2002. \*SRH/BA, 2003

A vazão consumida foi dada pela diferença entre o volume de água captado e a vazão de retorno.

### 3.3.3. Abastecimento humano urbano

Para determinar o volume de água captado para o abastecimento humano urbano em cada município, utilizou-se a seguinte equação:

$$Q_{m,u} = (P_{m,u,a} q_{m,u}) \quad (13)$$

Onde:

$Q_{m,u}$  = Volume de água captado para o abastecimento humano urbano no município ( $L d^{-1}$ );

$P_{m,u,a}$  = Número de habitantes abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município (hab); e

$q_{m,u}$  = Vazão per capita para o município ( $L hab^{-1}d^{-1}$ ).

Em caso de inexistência de dados referentes ao número de habitantes abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água nos censos demográficos, este foi estimado pela seguinte equação:

$$P_{m,a} = D_{m,a} \frac{P_{m,u}}{D_{m,u}} \quad (14)$$

Onde:

$P_{m,a}$  = Número total de habitantes abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município (hab);

$D_{m,a}$  = Domicílios abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento no município, obtidos nos censos demográficos do IBGE (unidade);

$P_{m,u}$  = Número de habitantes do meio urbano no município, obtido nos censos demográficos do IBGE (hab); e

$D_{m,u}$  = Domicílios urbanos no município, obtidos nos censos demográficos do IBGE (unidade).

A vazão “per capita” para os municípios cujas sedes se localizam dentro da bacia do rio Pardo foi estimada pela equação:

$$q_{m,u} = \frac{V_{m,u,d}}{P_{m,u,a}} \quad (15)$$

Onde:

$q_{m,u}$  = Vazão “per capita” no município ( $L \text{ hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ );

$V_{m,u,d}$  = Volume de água distribuído no município, obtido de Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE ( $L \text{ d}^{-1}$ ); e

$P_{m,u,a}$  = Número de habitantes abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município (hab).

### 3.3.4. Abastecimento humano rural

O volume de água captado para abastecimento rural, por município, foi estimado considerando se a população abastecida pelo sistema público é maior ou menor do que a população urbana. Caso seja maior, a população considerada para cálculo da estimativa foi toda a população rural, sendo ela abastecida ou não, estimada pela seguinte equação:

$$Q_{m,r} = P_{m,r,a} q_{m,u} + P_{m,r,\tilde{a}} q_{m,r} \quad (16)$$

Onde:

$Q_{m,r}$  = Volume de água captado para o abastecimento rural no município ( $L \text{ d}^{-1}$ );

$P_{m,r,a}$  = Número de habitantes do meio rural abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água (hab);

$q_{m,u}$  = Vazão per capita para o município ( $L \text{ hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ );

$P_{m,r,\tilde{a}}$  = Número de habitantes do meio rural não abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água (hab); e

$q_{m,r}$  = Vazão “per capita” no meio rural ( $L \text{ hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ).

O número de habitantes do meio rural abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município foi obtido pela equação:

$$P_{m,r,a} = P_{m,a} - P_{m,u} \quad (17)$$

Onde:

$P_{m,r,a}$  = Número de habitantes do meio rural abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município (hab);

$P_{m,a}$  = Número total de habitantes abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município (hab); e

$P_{m,u}$  = Número de habitantes do meio urbano no município, obtido nos censos demográficos do IBGE (hab).

O número de habitantes do meio rural não abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água foi estimado pela equação:

$$P_{m,r,\tilde{n}a} = P_{m,t} - P_{m,a} \quad (18)$$

Onde:

$P_{m,r,\tilde{n}a}$  = Número de habitantes do meio rural não abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água (hab);

$P_{m,t}$  = Número total de habitantes do município, obtido nos censos demográficos do IBGE (hab); e

$P_{m,a}$  = Número total de habitantes abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município (hab).

A vazão “per capita” no meio rural foi determinada usando os critérios propostos pela ANA (2003), no documento “Base de Referência para o Plano Nacional de Recursos Hídricos” (Tabela 11).

**Tabela 11 – Vazão “per capita” no meio rural, conforme o estado considerado**

Estados	Vazão “per capita” L/ (hab.d)
AL, GO, PI	70
AC, BA, CE, DF, ES, MA, MS, MT, PA, PB, PE, PR, RN, RO, SE, SC, TO	100
AM, AP, MG, RJ, RS, RR, SP	125

Fonte: ANA (2003).

Quando o número de habitantes abastecidos pelo sistema público foi menor do que a população urbana, a estimativa do volume de água captado foi calculada pela seguinte equação:

$$Q_{m,r1} = P_{m,r,t} q_{m,r} \quad (19)$$

Onde:

$Q_{m,r1}$  = Volume de água captado para o abastecimento rural no município ( $Ld^{-1}$ );

$P_{m,rt}$  = Número total de habitantes considerado para o abastecimento rural no município (hab); e

$q_{m,r}$  = Vazão “per capita” no meio rural ( $L \text{ hab}^{-1} d^{-1}$ ).

O número de habitantes considerado no cálculo do abastecimento rural no município foi estimado pela equação:

$$P_{m,rt} = P_{m,r} + P_{m,u,\tilde{na}} \quad (20)$$

Onde:

$P_{m,rt}$  = Número total de habitantes considerado para o abastecimento rural no município (hab);

$P_{m,r}$  = Número de habitantes do meio rural no município (hab); e

$P_{m,u,\tilde{na}}$  = Número de habitantes do meio urbano não abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município (hab).

O número de habitantes do meio urbano não abastecidos foi estimado pela equação:

$$P_{m,u,\tilde{na}} = P_{m,u} - P_{m,a} \quad (21)$$

Onde:

$P_{m,u,\tilde{na}}$  = Número de habitantes do meio urbano não abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município (hab);

$P_{m,u}$  = Número de habitantes do meio urbano no município, obtido nos censos demográficos do IBGE (hab); e

$P_{m,a}$  = Número total de habitantes abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município (hab).

### 3.4. Estimativa das vazões naturais

A vazão natural foi estimada com o emprego da equação:

$$Q_{nat} = Q_{obs} + Q_{anim} + Q_{rur} + Q_{urb} + Q_{irrig} \quad (22)$$

Onde:

$Q_{nat}$  = Vazão natural diária ( $m^3 s^{-1}$ );

$Q_{obs}$  = Vazão observada diária ( $m^3 s^{-1}$ );

$Q_{anim}$  = Média da vazão consumida pelo abastecimento animal ao mês ( $m^3 s^{-1}$ );

$Q_{rur}$  = Média da vazão consumida pelo abastecimento rural ao mês ( $m^3 s^{-1}$ );

$Q_{urb}$  = Média da vazão consumida pelo abastecimento urbano ao mês ( $m^3 s^{-1}$ );

$Q_{irrig}$  = Média da vazão consumida pela irrigação ao mês ( $m^3 s^{-1}$ ).

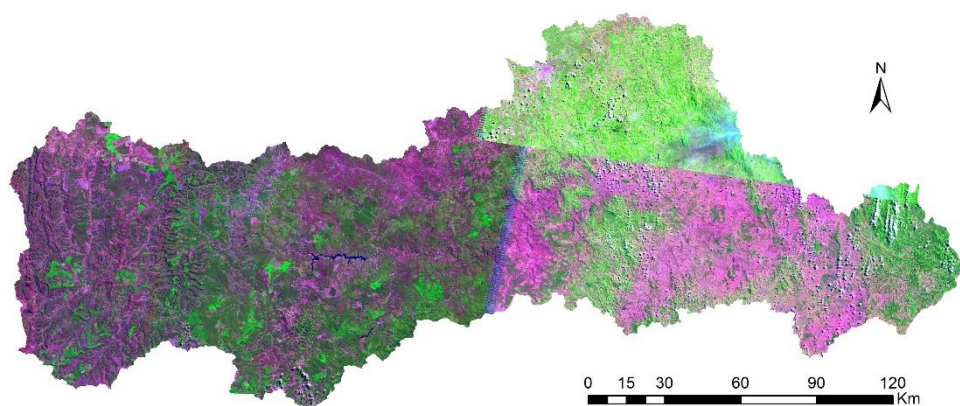
### 3.5. Relação entre o uso da terra e o comportamento fluvial na bacia hidrográfica do rio Pardo

#### 3.5.1 Imagens de satélite

Para a confecção do mapa de uso e cobertura da terra, realizou-se uma consulta à Earth Explorer/USGS<sup>1</sup>, para aquisição das cenas que cobrem a área em estudo. A partir desta consulta, foi possível observar que as melhores datas das imagens correspondiam aos meses de estiagem, em que havia menor taxa de cobertura de nuvens na região. Na Figura 6 é apresentado o mapa da região de estudo.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.



**Figura 6** – Composição R3G2B1 das imagens Landsat na área de estudo.  
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

O mapa de uso e cobertura da terra foi confeccionado com o auxílio de ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS 10.1. O mapeamento foi realizado a partir de imagens de satélite Landsat, com resolução espacial de 30 metros.

Para cobrir a área de estudo completa, foram utilizadas seis diferentes cenas do ano de 2011. A imagem possui como referência espacial o WGS 1984 Zona 24S, formato TIFF, com profundidade de pixel de 16 bit, fonte contínua e 6 bandas espectrais: azul (0,45 a 0,52  $\mu\text{m}$ ); verde (0,52 a 0,60  $\mu\text{m}$ ); vermelho (0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$ ); infravermelho próximo (0,76 a 0,90  $\mu\text{m}$ ); infravermelho médio (1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$ ); e infravermelho distante (2,08 a 2,35  $\mu\text{m}$ ).

### **3.5.2 Classificação não supervisionada**

O método utilizado no estudo foi o de classificação não-supervisionada, indicado quando o analista não possui conhecimento da área de estudo. Neste sentido, o objetivo é eliminar a subjetividade no processo de obtenção das amostras de áreas, para criar o pacote de treinamento, como é feito na classificação supervisionada. Foram mapeadas 12 classes, as quais foram reagrupadas em seis categorias de uso e cobertura do solo (corpo hídrico, cultivo, floresta, pastagem, nuvem e urbanização).

### **3.6. Análise exploratória dos dados**

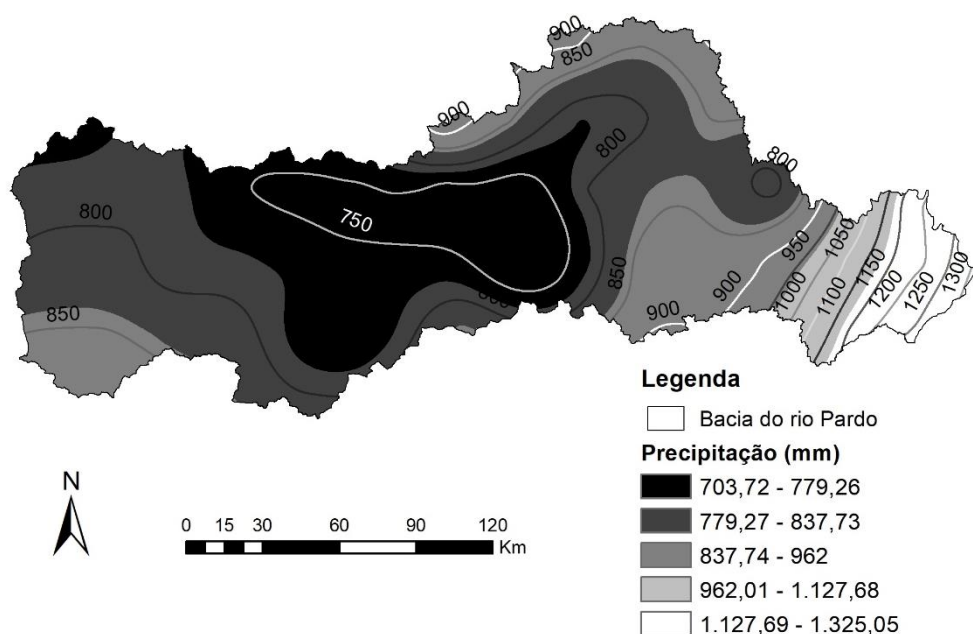
Após a obtenção dos dados, foi realizada a análise quantitativa da relação entre o uso e cobertura da terra e as vazões de cada estação fluviométrica considerada no estudo, a partir do ajuste de equações de regressão linear simples, como descrito por Latuf (2005). Dessa forma, foram obtidas equações a fim de descrever o comportamento das vazões mínimas, média e máxima anuais, usando-se como variável explicativa a porcentagem de floresta existente na área de drenagem de cada estação. A fim de melhor explicar o comportamento das vazões máximas, foi realizada uma análise de regressão linear múltipla, tendo como variável explicativa a área de drenagem e a porcentagem de floresta da área de influência de cada estação.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Estudo do comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do rio Pardo

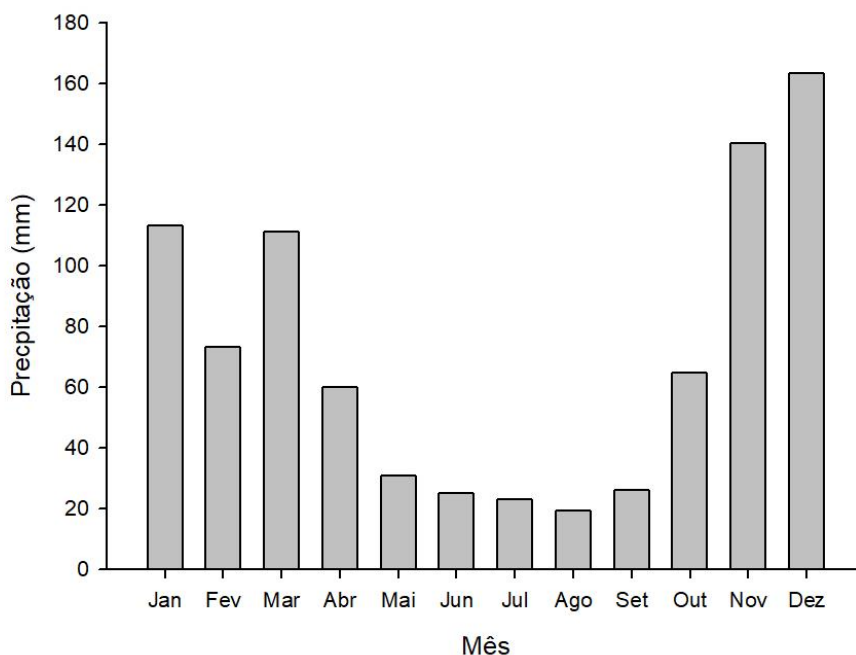
Observa-se no mapa de distribuição da precipitação média anual na bacia do rio Pardo (Figura 7), confeccionado a partir dos dados obtidos pelo método desenvolvido por Xavier et al. (2015), que a precipitação sofre variação ao longo da bacia, podendo interferir na vazão dos cursos d'água de cada seção estudada. Pode-se observar ainda que a precipitação média anual varia de 703,72 mm, na região central da bacia, a 1325,05 mm, mais próximo à foz. Considerando o menor e o maior valor de precipitação média anual observada, nota-se uma variação de 88,29% para uma área de 30.657,96 km<sup>2</sup>, evidenciando grande variação da precipitação na bacia.



**Figura 7** – Distribuição espacial da precipitação média anual na bacia do rio Pardo. Fonte: Elaborado pela autora (2017).

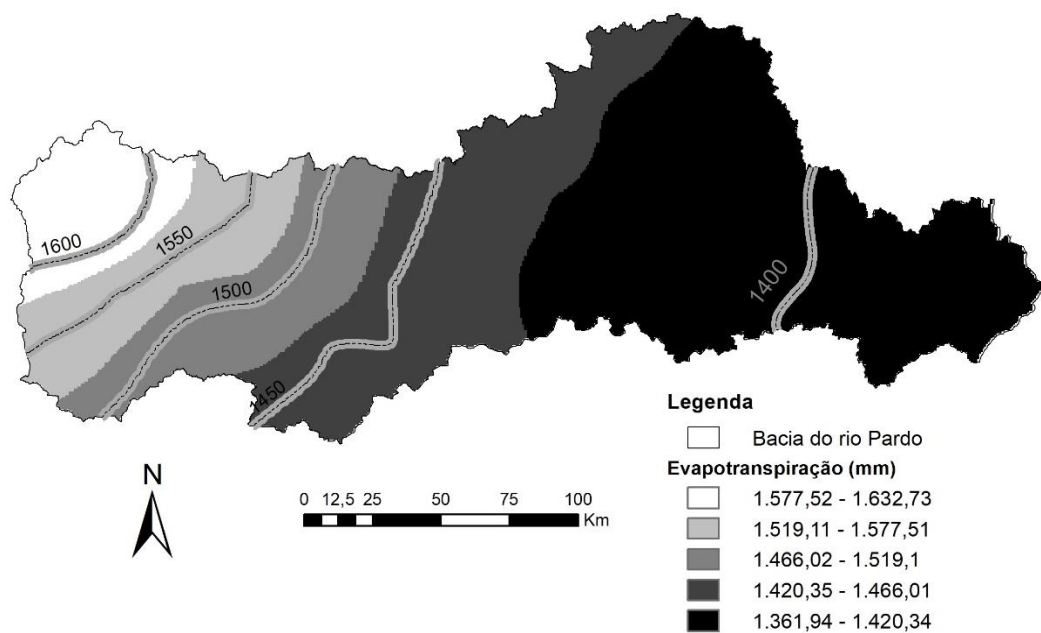
Ao analisar a distribuição da precipitação média mensal na área de drenagem da bacia do rio Pardo (Figura 8), pode-se observar que o regime de precipitação apresenta oscilação unimodal, sendo que o período mais chuvoso vai de outubro a abril, com precipitação superior a 60 mm (abril) e valores acima de 163 mm

(dezembro). Quanto ao período mais seco, de maio a setembro, os valores de precipitação média mensais foram inferiores a 60 mm, sendo considerados os mais críticos. As precipitações variaram de 19,45 mm (agosto) a 163,3 mm (dezembro), sendo 886,25 mm a média anual na área de drenagem de toda a bacia.

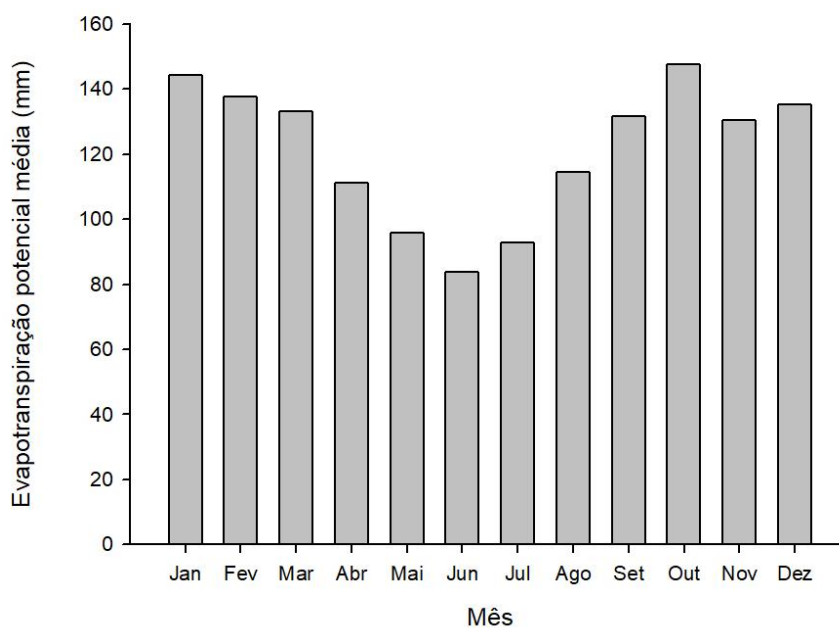


**Figura 8 –** Precipitação média mensal na área de drenagem da bacia do rio Pardo.  
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

A partir da Figura 9 é possível observar o comportamento da evapotranspiração de referência média anual na bacia do rio Pardo. Nota-se que a evapotranspiração sofre variação de 14,95% ao longo da área analisada, atingindo 1632,73 mm na região mais próxima à cabeceira da bacia, ocorrendo um decréscimo em direção à foz, onde se verifica evapotranspirações médias anuais de 1420,34 mm. Na Figura 10, verifica-se a distribuição da evapotranspiração de referência mensal na área de drenagem da bacia do rio Pardo, em que a partir dela, pode-se afirmar que o regime apresenta oscilação unimodal, sendo que o período que mais evapotranspira é compreendido entre os meses de setembro e março, com valores superiores a 120 mm. Quanto ao período em que menos evapotranspira, de abril a agosto, os valores observados variaram entre 83,92 mm (junho) e 114,6 mm (agosto), considerado o período menos crítico.



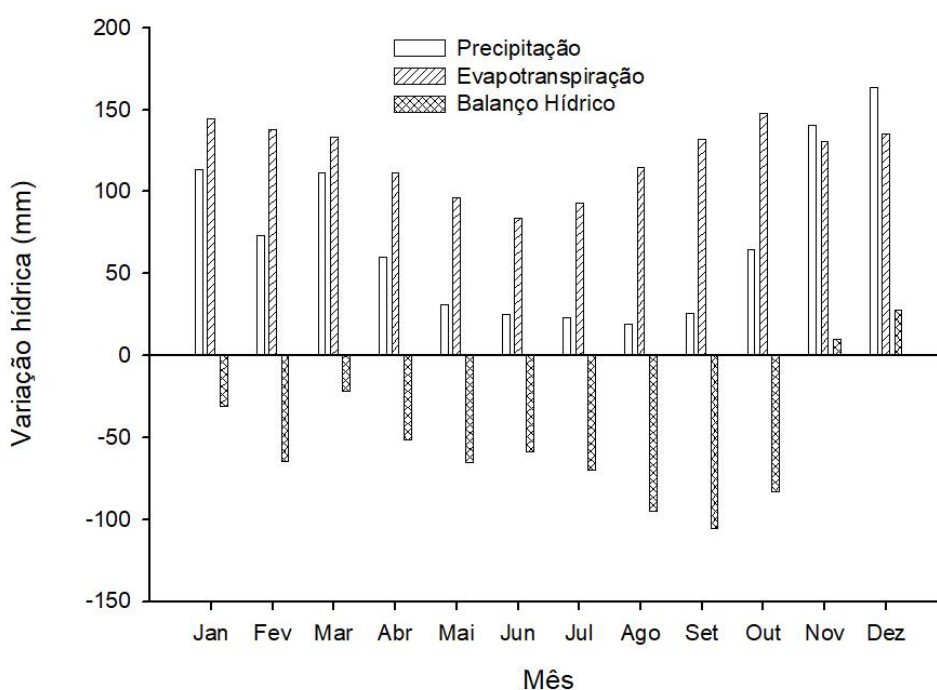
**Figura 9** – Distribuição espacial da evapotranspiração de referência média anual na bacia do rio Pardo.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2017).



**Figura 10** – Evapotranspiração de referência média mensal na área de drenagem da bacia do rio Pardo.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Ao analisar a distribuição da precipitação média, da evapotranspiração de referência média e o balanço climatológico médio mensal na área de drenagem da bacia do rio Pardo (Figura 11), pode-se observar que o mês em que apresentou

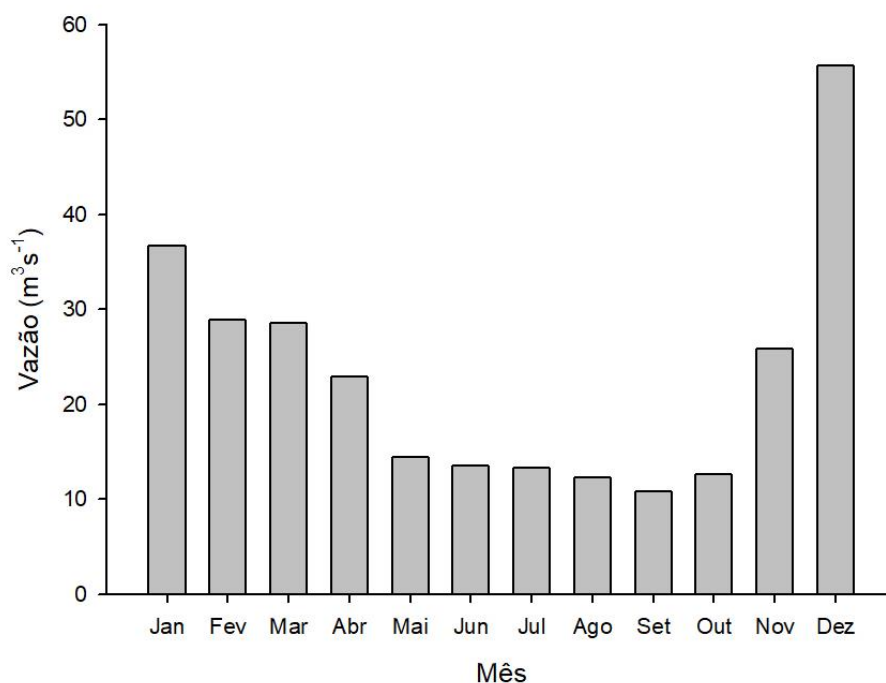
maior valor na diferença entre a quantidade precipitada e a quantidade evapotranspirada foi setembro, considerado o mês mais crítico para as culturas e, conseqüentemente, o mês de maior demanda hídrica. De acordo com Santos et al. (2013), a partir balanço climatológico mensal, é possível determinar a gestão integrada da água de determinada região, definindo sistemas de irrigação que devem ser utilizados, o dimensionamento da lâmina líquida do sistema de irrigação, considerando a cultura, o solo e os custos, além de permitir o manejo da irrigação (quanto e quando irrigar) a partir de dados históricos de evapotranspiração.



**Figura 11** – Precipitação média, evapotranspiração de referência média mensal e o balanço hídrico médio mensal na área de drenagem da bacia do rio Pardo. Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Na Figura 12 encontra-se a vazão média mensal observada na bacia do rio Pardo. Analisando-a juntamente com a Figura 8, pode-se observar os efeitos e a ligação que existe entre a precipitação que ocorre na bacia e a vazão escoada no rio. Observa-se que, enquanto há um acréscimo da precipitação a partir do mês de setembro, a vazão média começa a crescer apenas em outubro. Isso ocorre porque durante esse período o solo apresenta baixa umidade e alta capacidade de infiltração e retenção de água; logo, as primeiras chuvas ficam retidas no solo, não alimentando as vazões em época de estiagem. A vazão média mensal para a bacia

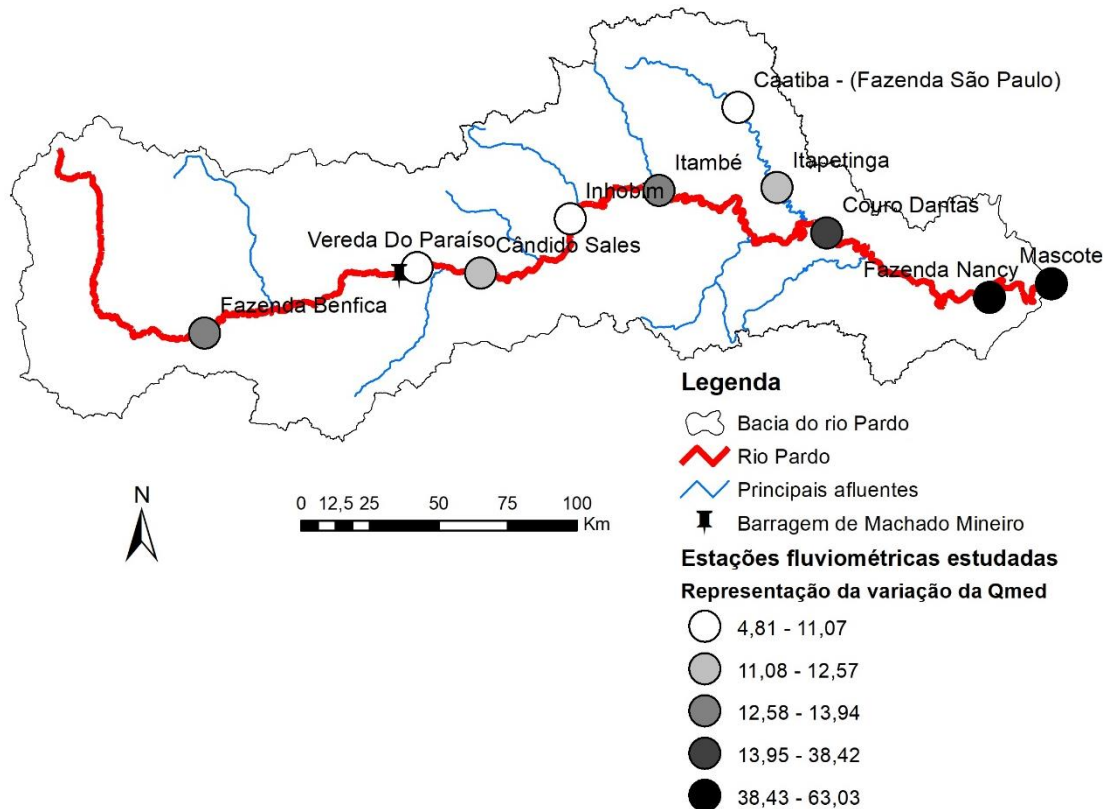
do rio Pardo variou de  $10,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (setembro) a  $55,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (dezembro), sendo a vazão média anual de  $22,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Os meses de novembro, dezembro e janeiro foram os que apresentaram maiores valores de precipitação e de vazão, com exceção do mês de novembro, que apresentou valor de vazão menor que o mês de fevereiro, fato também observado por Pereira et al. (2007). Os autores afirmam que devido à alta umidade do solo e ao grande abastecimento do lençol freático, provenientes das precipitações anteriores, há maior contribuição do escoamento subterrâneo e maior propensão para a ocorrência do escoamento superficial neste mês.



**Figura 12** – Vazão média mensal na área de drenagem da bacia do rio Pardo.  
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Na Figura 13, encontra-se a variação espacial da vazão média de longa duração para a bacia hidrográfica do rio Pardo, no período de 1984 a 2013. Pode-se observar que as vazões médias de longa duração aumentam da cabeceira do rio em direção à sua foz, como já era esperado, devido ao aumento da área de drenagem de cada estação fluviométrica, com exceção da Fazenda Benfica, devido a uma barragem localizada no Distrito Machado Mineiro, no Norte de Minas Gerais. Em estudo realizado por Tucci e Clarke (1997), sobre o efeito da alteração da cobertura vegetal sobre o escoamento, verificou-se que a variação da vazão média está

diretamente relacionada com a vegetação existente na bacia. Eles afirmam que regiões desmatadas tendem a apresentar um aumento na vazão média. Considerando as 10 estações analisadas no estudo, a vazão média de longa duração variou de  $4,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (estação Caatiba – Fazenda São Paulo, com área de drenagem de  $1885,27 \text{ km}^2$ ) a  $63,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (estação Mascote, com área de drenagem de  $30657,96 \text{ km}^2$ ).



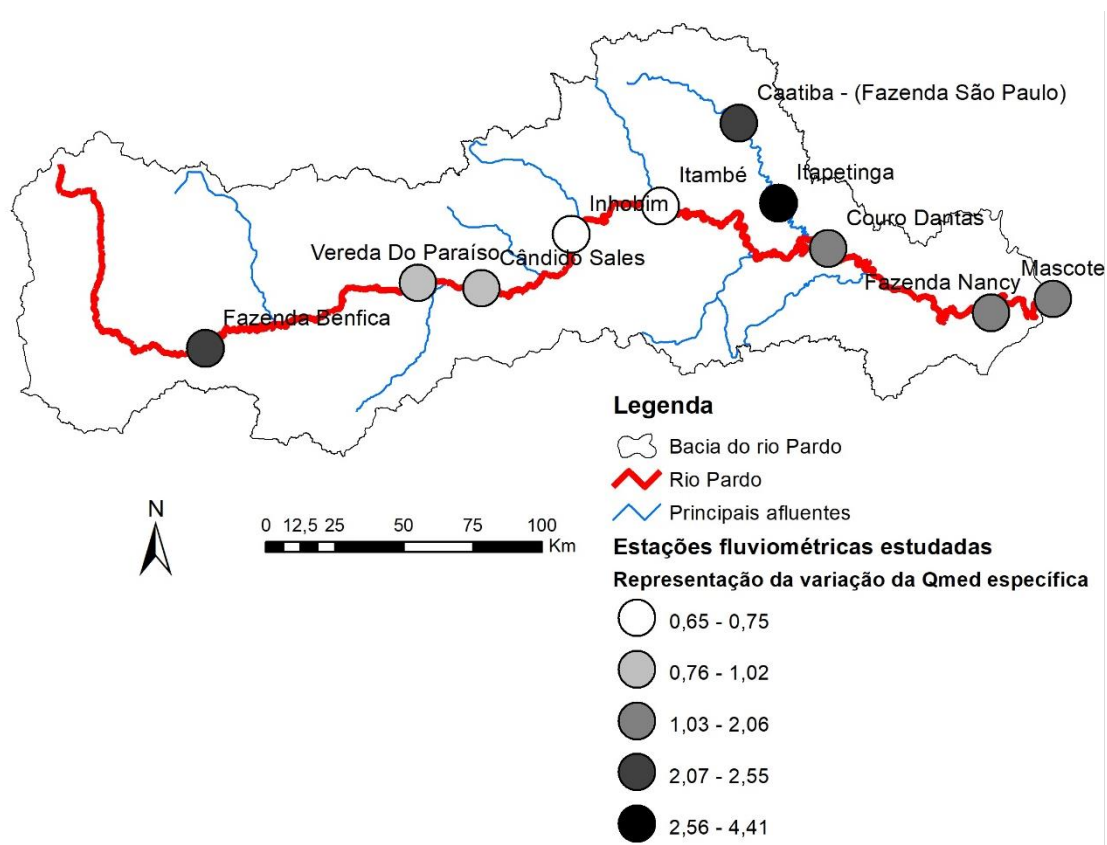
**Figura 13** – Vazão média de longa duração nas áreas de drenagem dos postos fluviométricos situados na bacia do rio Pardo, considerando o período de 1984 a 2013.

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Na Figura 14, encontra-se a variação espacial da vazão específica média de longa duração na bacia do rio Pardo, no período de 1984 a 2013. Nota-se que as vazões específicas médias se comportaram de maneira semelhante, quando comparadas à vazão média de longa duração, aumentando no mesmo sentido. Os maiores valores foram encontrados na região mais próxima à foz, decrescendo na região central da bacia, comportamento que pode ser justificado com a análise da Figura 6, que mostra as precipitações que ocorrem na bacia, que também decrescem no mesmo sentido. As vazões específicas médias de longa duração mais

elevadas são evidenciadas nas estações Itapetinga e Caatiba (Fazenda São Paulo), devido ao total precipitado e, principalmente, às pequenas áreas de drenagem correspondentes às estações.

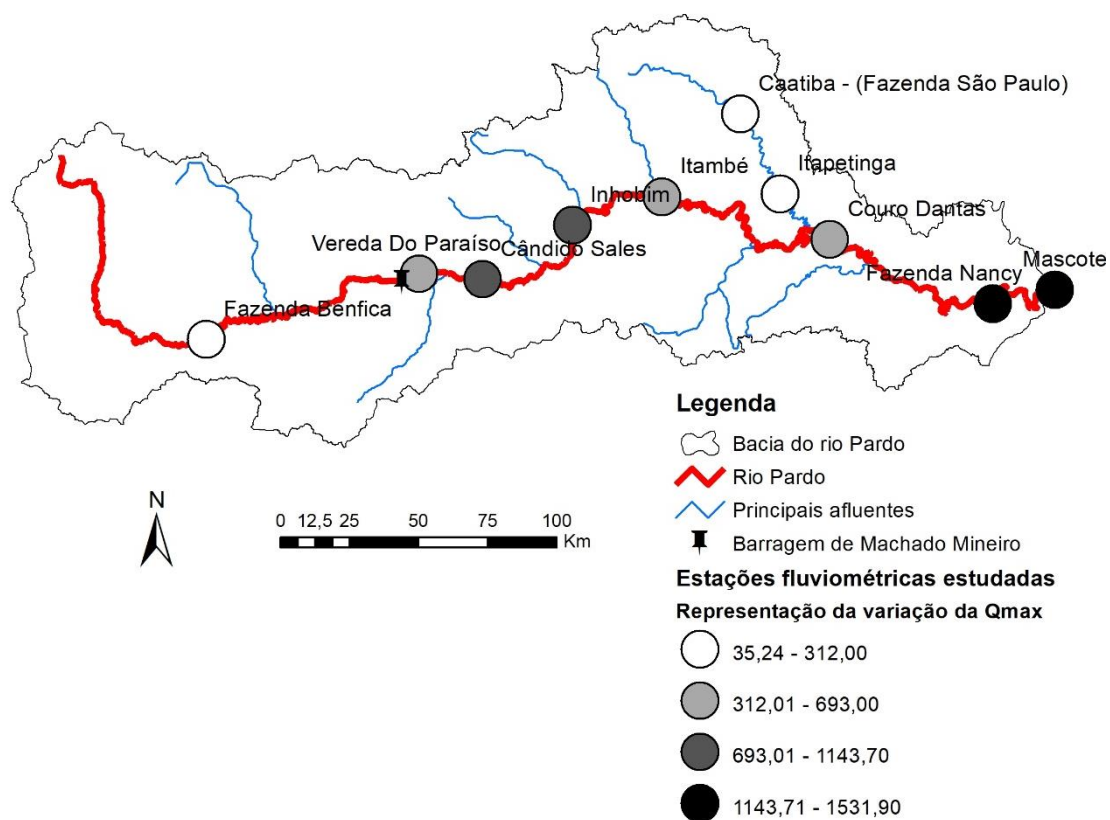
O menor valor de  $Q_{med}$  específica foi observado na estação Inhobim ( $0,65 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ), devido ao fato de ter apresentado o valor mais baixo de precipitação ocorrido na área de drenagem, fazendo com que, mesmo a estação possuindo uma área de drenagem pequena, a vazão específica fosse também reduzida. O maior valor foi observado na estação Itapetinga ( $4,41 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ), por possuir uma pequena área de drenagem e uma precipitação mediana.



**Figura 14** – Vazão específica média de longa duração nas áreas de drenagem dos postos fluviométricos situados na bacia do rio Pardo.  
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Na Figura 15, encontra-se a variação espacial da vazão máxima que ocorre na bacia do rio Pardo, no período de 1984 a 2013. A vazão máxima ( $Q_{max}$ ) se comportou de maneira semelhante à vazão média de longa duração, aumentando no sentido oeste-leste. Os maiores valores de  $Q_{max}$  foram observados nas estações Fazenda Nancy ( $1531,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e Mascote ( $1481,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), onde ocorreram as

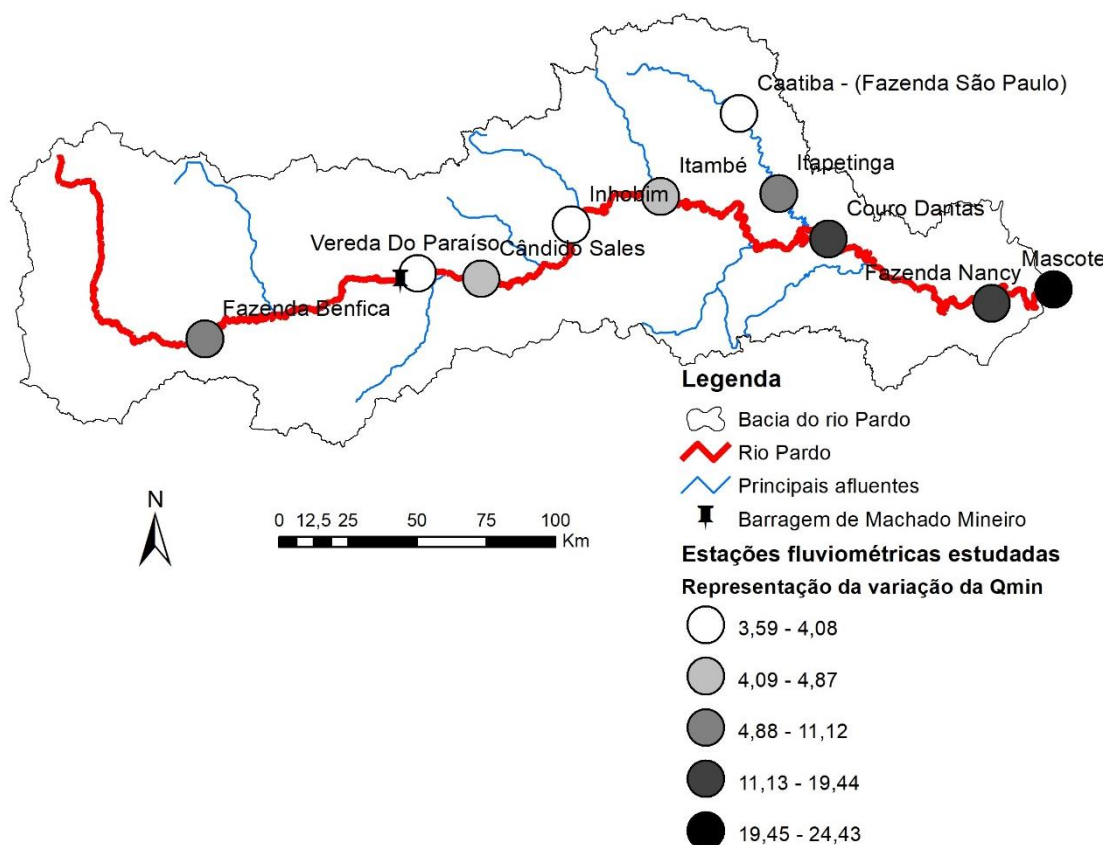
maiores precipitações. O menor valor observado foi na estação Caatiba – Fazenda São Paulo ( $35,24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).



**Figura 15** – Vazão máxima nas áreas de drenagem dos postos fluviométricos situados na bacia do rio Pardo.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2017).

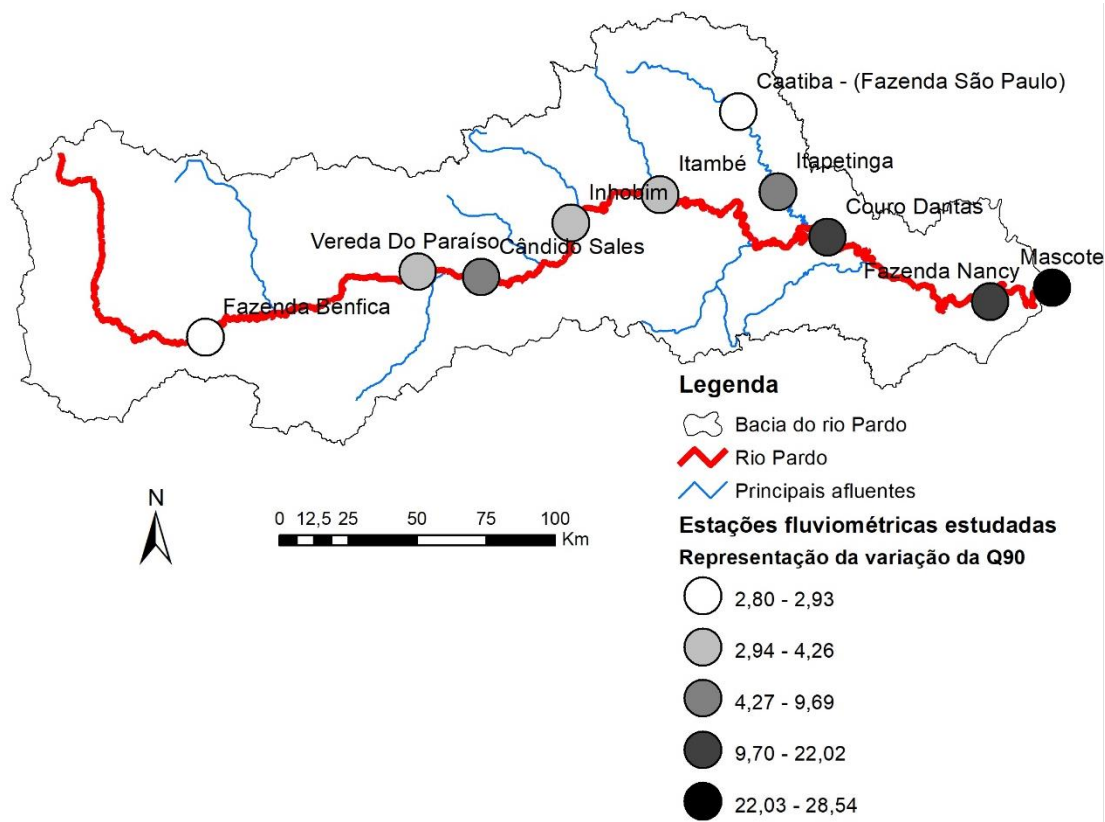
Na Figura 16, encontra-se a variação espacial da vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ) que ocorre na bacia do rio Pardo para o período considerado neste estudo. A vazão mínima se comportou de forma semelhante às vazões média e máxima, variando de  $3,59 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (estação Caatiba – Fazenda São Paulo) a  $24,43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (estação Mascote).





**Figura 16** – Vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ) nas áreas de drenagem dos postos fluviométricos situados na bacia do rio Pardo.  
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

A partir das curvas de permanência obtidas para cada estação, extraiu-se as vazões associadas à permanência de 90% do tempo. Na Figura 17, encontra-se a variação espacial da vazão associada à permanência de 90% do tempo e, ao analisá-la juntamente com as Figuras 9, 11 e 12, nota-se que a  $Q_{90}$  se comporta de forma semelhante às vazões mínimas, médias e máximas, diferenciando-se apenas de forma quantitativa. A  $Q_{90}$  variou de  $2,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (estação Caatiba – Faz. São Paulo) a  $28,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (estação Mascote). Apenas quatro estações fluviométricas, das dez consideradas no estudo, apresentaram valores de  $Q_{90}$  superiores ao da  $Q_{7,10}$ , sendo a maior diferença evidenciada na estação Cândido Sales (49,75%) e a menor (3,02%), na estação Couro Dantas, enquanto que as outras seis estações apresentaram valores de  $Q_{90}$  inferiores aos de  $Q_{7,10}$ , sendo a maior diferença observada na estação Fazenda Benfica (73,67%) e a menor na Vereda do Paraíso (1,02%).

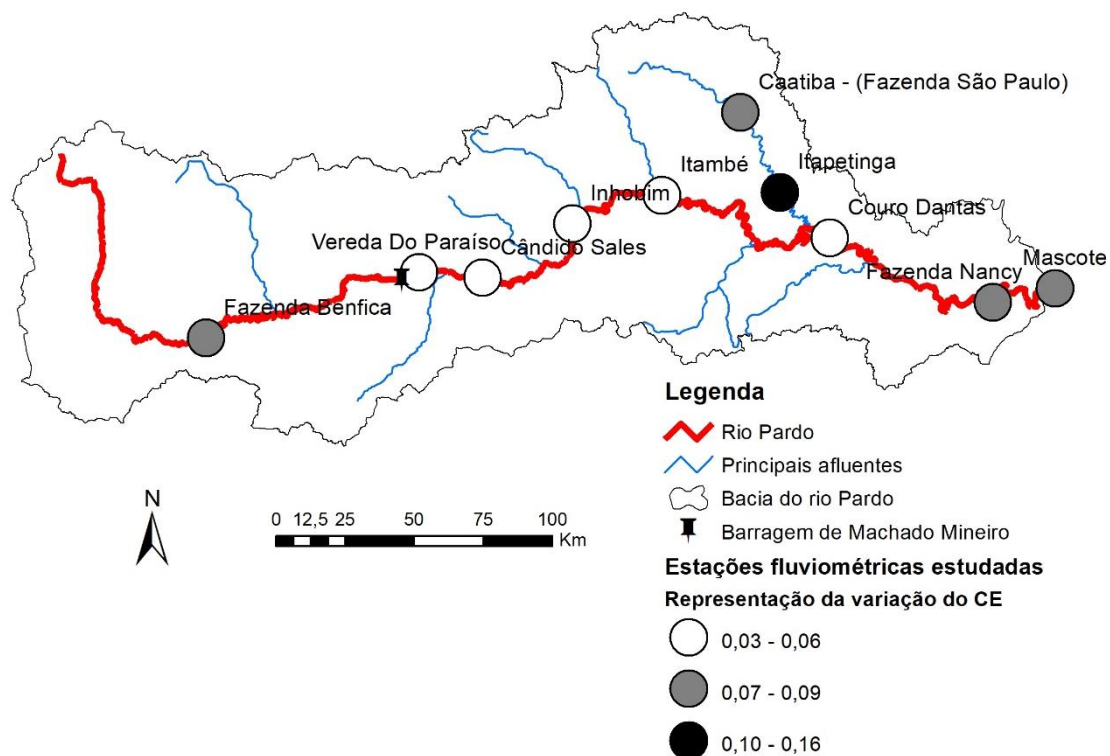


**Figura 17** – Vazão associada à permanência de 90% do tempo nas áreas de drenagem dos postos fluviométricos da bacia do rio Pardo.  
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Na Figura 18, encontra-se a variação espacial do coeficiente de deságue no período de 1984 a 2013 na bacia do rio Pardo. O comportamento evidenciado no coeficiente de deságue foi semelhante ao constatado nas vazões específicas, sendo os maiores valores observados nas regiões mais próximas à foz e os menores, na região central da bacia.

O coeficiente de deságue variou de 0,03 na estação Inhobim, onde se evidenciou a mais baixa precipitação média anual da bacia (784 mm), a 0,16 na estação Itapetinga, onde se constatou uma precipitação mais elevada, de 856 mm. O coeficiente de deságue e o total precipitado são diretamente proporcionais, o que justifica o comportamento do mesmo. Quanto maior o total precipitado, maior a quantidade de precipitação convertida em escoamento no rio. Do volume total precipitado na bacia do rio Pardo, apenas 7,6% atinge a seção de deságue da área da bacia considerada no estudo. Isso mostra que o escoamento superficial da bacia é pequeno, podendo ser justificado pela presença de cobertura vegetal ao longo da

bacia, e que as vazões dos rios nessas bacias são decorrentes do escoamento subsuperficial.

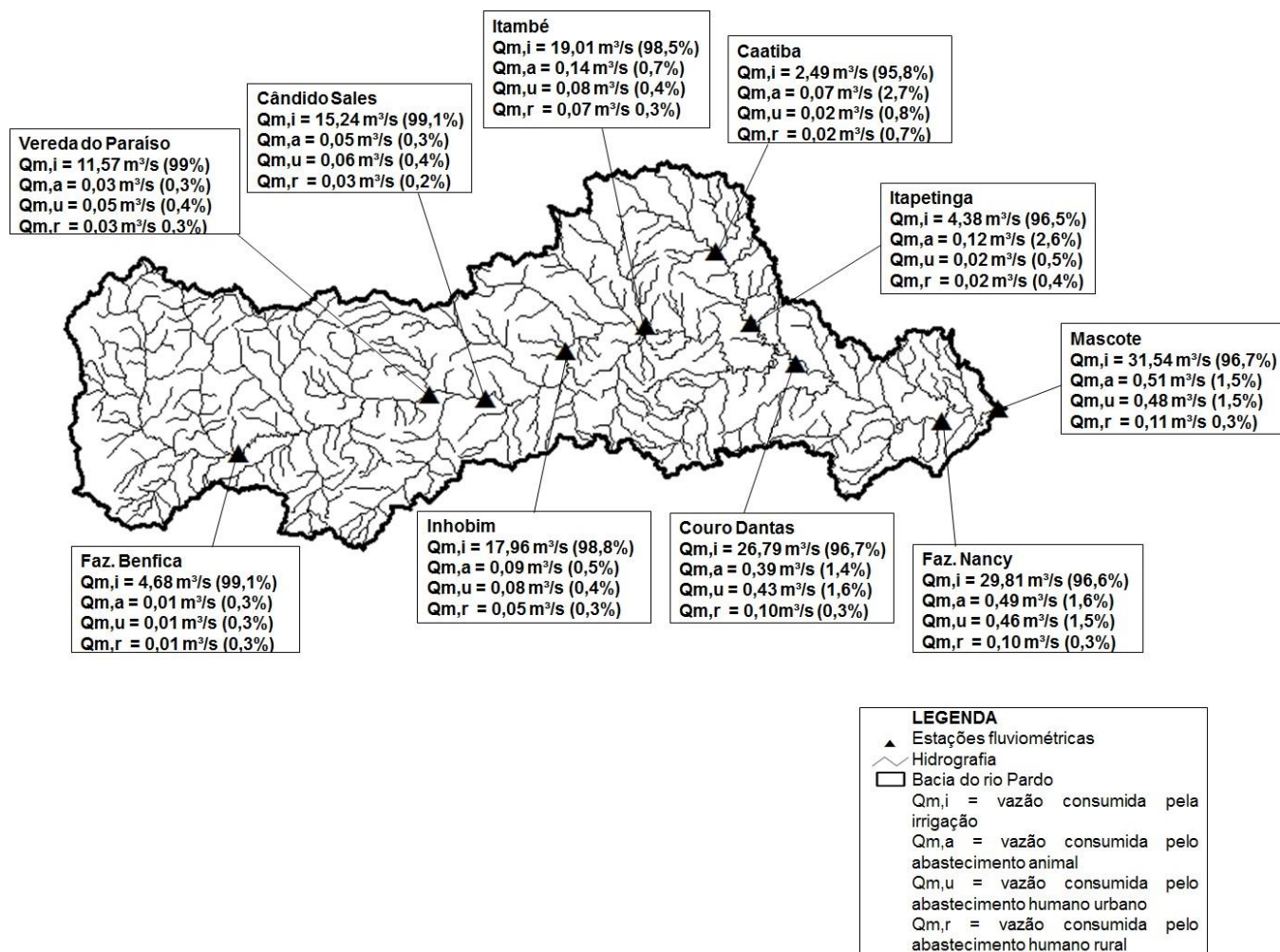


**Figura 18** – Coeficiente de deságue nas áreas de drenagem dos postos fluviométricos situados na bacia do rio Pardo.

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

#### 4.2. Vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano urbano e humano rural, no período de 1984 a 2013, na bacia do rio Pardo

Na Figura 19, estão dispostas as vazões consumidas pelos vários segmentos, como irrigação, abastecimentos animal, humano urbano e humano rural e seus respectivos percentuais em relação ao total consumido no ano de 2006, ano em que ocorreu o último censo agropecuário, na área de drenagem das 10 estações analisadas no estudo. Diante dos resultados obtidos, o referido ano apresentou os maiores valores de vazão consumida pela irrigação.



**Figura 19** – Vazões consumidas pelos segmentos irrigação e pelos abastecimentos animal, humano urbano e humano rural e suas respectivas porcentagens com relação ao total consumido no ano de 2006, na área de drenagem das 10 estações analisadas no estudo.

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

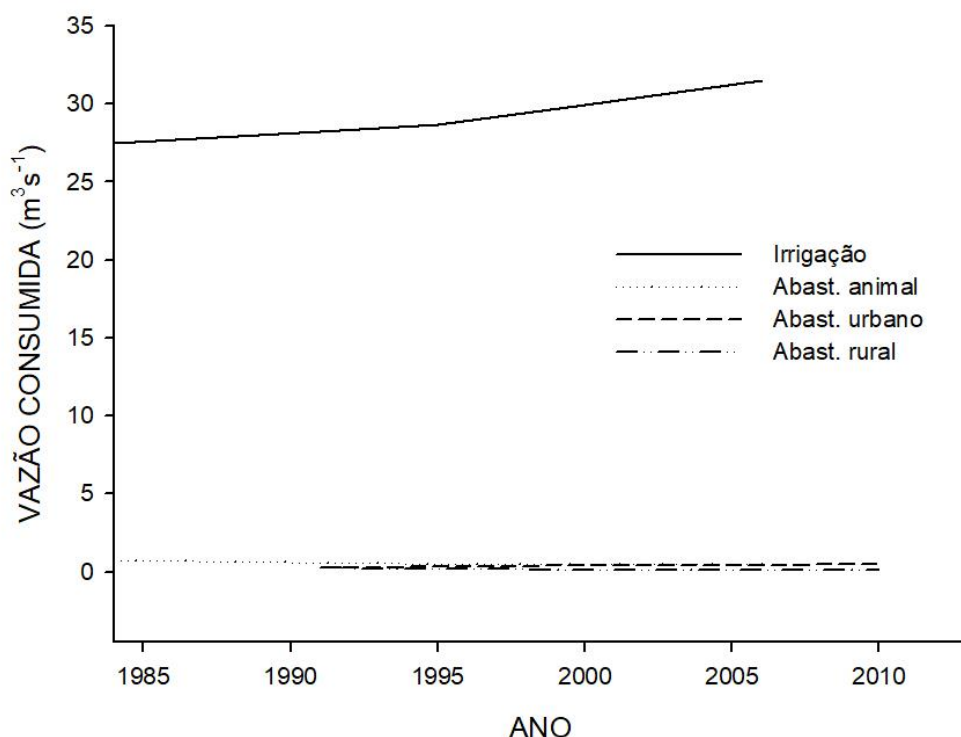
Em todas as áreas de influência de todas as estações consideradas no estudo, a vazão consumida pela irrigação foi maior do que 95% do total consumido por todos os segmentos de usuários. A vazão consumida variou de 0,3 a 2,7% do total para o abastecimento animal; de 0,3 a 1,6% para o abastecimento humano urbano e inferior a 1% para o abastecimento humano rural.

A estação Mascote, localizada mais próxima à foz do rio Pardo e com maior área de drenagem, apresentou o maior valor de vazão consumida, com um total de  $32,63 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , sendo que  $31,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (96,7%) foram consumidos pela irrigação,  $0,51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (1,5%) pelo abastecimento animal,  $0,48 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (1,5%) pelo abastecimento humano urbano e  $0,11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (0,3%) pelo abastecimento humano rural.

Já a estação Caatiba – Fazenda São Paulo, apresentou um total de  $2,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , menor valor de vazão consumida, decorrente da sua pequena área de drenagem e, conseqüentemente, pequena área irrigada. Deste valor total, a irrigação consumiu  $2,49 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (95,8%), o abastecimento animal consumiu  $0,07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (2,7%),  $0,02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (0,8%) foram consumidos pelo abastecimento humano urbano e  $0,02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (0,7%) pelo abastecimento humano rural. O abastecimento animal foi o segmento que apresentou maior proporção de vazão consumida depois da irrigação, devido ao grande número de efetivo bovino existente na bacia como um todo.

#### **4.2.1. Variação das vazões consumidas no período de 1984 a 2013**

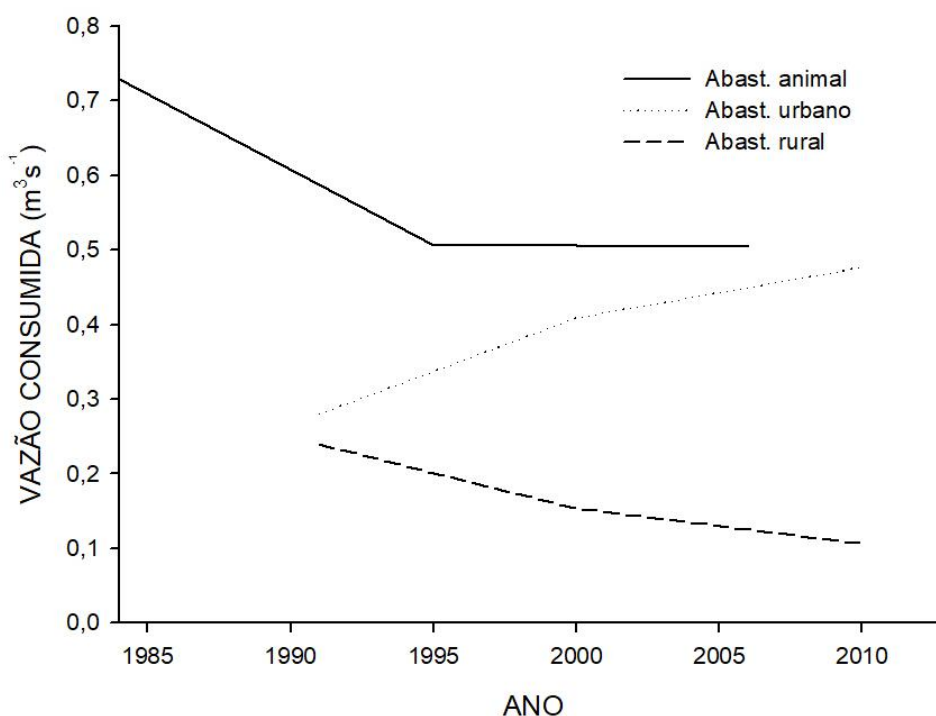
Na Figura 20, encontra-se o comportamento das vazões consumidas pelos diversos segmentos para o período de 1984 a 2013, na estação Mascote, por esta representar a maior área de drenagem da bacia. A partir desta figura, pode-se observar que a vazão consumida pela irrigação na estação supracitada aumentou com o passar do tempo, desde o início do período considerado no estudo. Em 1984, a irrigação consumia uma vazão de  $27,52 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , atingindo em 2006 (ano em que foi realizado o último censo agropecuário), um valor de  $31,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .



**Figura 20** – Vazão consumida, até a estação Mascote, pelos segmentos irrigação e pelos abastecimentos animal, humano urbano e humano rural, no período de 1984 a 2013.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

A fim de melhor representar o comportamento das vazões consumidas pelos abastecimentos humano urbano, humano rural e animal, não visualizados adequadamente na Figura 20, em função dos pequenos valores em relação à irrigação, é apresentado na Figura 21 o comportamento desses três segmentos. Nota-se que o abastecimento animal consumiu uma maior vazão quando comparado com os abastecimentos humano (urbano e rural), porém decresceu cerca de 30% no período de 1984 a 2006, com uma taxa de decréscimo de  $0,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A maior diminuição pode ser notada no período entre 1985 e 1995 (anos em que foram realizados os dois primeiros censos agropecuários dentro do período considerado no estudo), correspondendo a uma diminuição de 30,58% no consumo de água e a uma taxa de decréscimo de vazão consumida de  $0,022 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , decorrente, principalmente, da diminuição do efetivo bovino na área da bacia. A partir desse ano, nota-se uma pequena variação da vazão consumida por esse segmento até o ano de 2006.



**Figura 21** – Vazão consumida, até a estação Mascote, pelos abastecimentos animal, humano urbano e humano rural, no período de 1984 a 2013. Fonte: elaborado pela autora (2017).

Com relação à vazão consumida para o abastecimento humano rural, nota-se um decréscimo durante todo o período considerado no estudo, tendo uma redução de  $0,0067 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , devido à diminuição tanto da população rural não abastecida ( $7.913 \text{ hab ano}^{-1}$ ) como da população rural total ( $4.663 \text{ hab ano}^{-1}$ ), decorrente da migração da população do meio rural para as cidades, causada pelo crescimento econômico evidenciado na bacia nesse período. Em virtude dessa migração, a vazão consumida para o abastecimento humano urbano sofreu um acréscimo de  $0,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  no período de 1984 a 2010, sendo praticamente mantida constante ao longo do período considerado.

#### 4.3. Impacto das vazões consumidas pelos quatro segmentos de usuários estudados no comportamento hidrológico da bacia do rio Pardo

### 4.3.1. Impacto na vazão média de longa duração

Na Tabela 12, pode-se observar as dez estações fluviométricas consideradas no estudo e suas respectivas vazões consumidas pelos quatro segmentos no ano de 2006, as vazões médias de longa duração e a relação entre as vazões consumidas e as vazões médias de longa duração.

**Tabela 12** – Vazão total consumida pelos quatro segmentos estudados no ano de 2006, vazão média de longa duração e porcentagem das vazões consumidas em relação à vazão média de longa duração, nas 10 estações analisadas

Estação	Vazão Total Consumida (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Vazão Média de Longa Duração (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	$\left( \frac{\text{Vazão Consumida}}{\text{Vazão média de longa duração}} \right) 100$
Caatiba	2,60	4,81	54,16
Cândido Sales	15,37	11,95	128,60
Couro Dantas	27,70	38,42	72,11
Fazenda Benfica	4,72	13,40	35,23
Fazenda Nancy	30,86	52,64	58,62
Inhobim	18,18	10,66	170,58
Itambé	19,30	13,94	138,45
Itapetinga	4,54	12,57	36,11
Mascote	32,63	63,03	51,77
Vereda do Paraíso	11,68	11,07	105,49

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Analisando esta proporção, verifica-se que as vazões consumidas foram, de modo geral, muito relevantes em relação à vazão média de longa duração do curso d'água, variando de 35,23 a 170,58% com relação às vazões dos rios nas estações consideradas. Nota-se que a vazão consumida pelos quatro segmentos de usuários foi maior do que a vazão média de longa duração nas estações Cândido Sales, Inhobim, Itambé e Vereda do Paraíso. Isso pode ser explicado pelo fato de que a vazão consumida pela irrigação está incluída neste total e a água consumida por esse segmento pode ser proveniente de reservatórios e não, necessariamente, da captação direta do curso d'água.

A estação Mascote representa o comportamento da bacia como um todo, pois está localizada mais a jusante do rio Pardo, cuja vazão consumida é da ordem de 51,7% da vazão média de longa duração observada no rio no ano de 2006, ressaltando-se que em 1984 a vazão consumida (28,7 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) correspondia a apenas

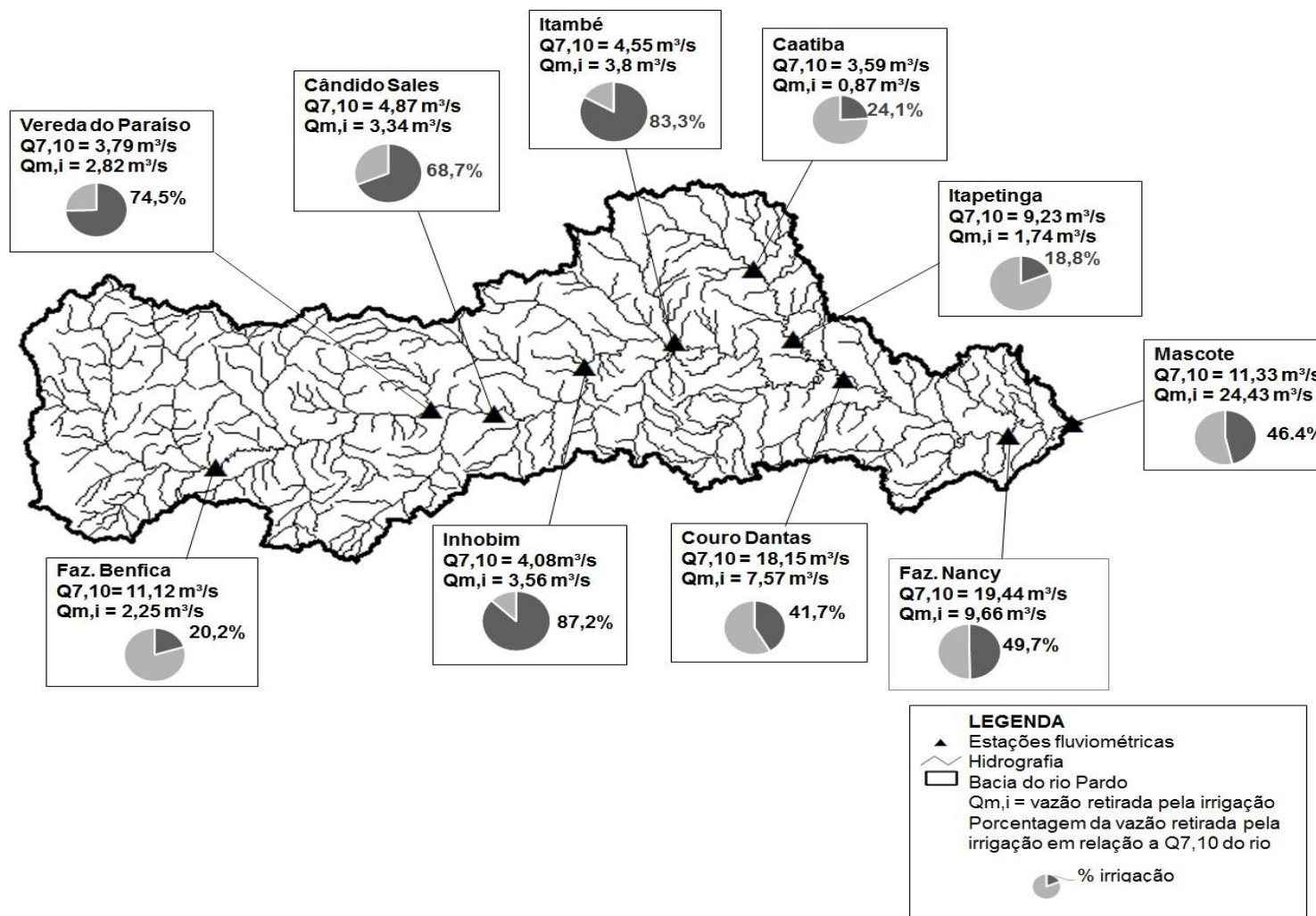


45,6% da vazão média de longa duração, tendo um aumento de, aproximadamente, seis pontos percentuais no consumo de água em 22 anos. Esses resultados mostram que há a necessidade da formação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo para que seja feita a gestão adequada dos recursos hídricos, considerando a alta taxa de crescimento da demanda, dado pelo intenso desenvolvimento econômico existente na bacia.

A estação Inhobim, localizada no rio Pardo, apresentou o maior consumo de água em relação à vazão média de longa duração (170,58%), em virtude do grande uso da irrigação nessa sub-bacia. Em 1984, essa vazão era representada por 128% acima da vazão do rio, o que indica um aumento, na ordem de 42%, em 22 anos da vazão consumida nessa sub-bacia.

#### **4.3.2. Impacto da vazão retirada pela irrigação nas vazões mínimas**

A irrigação, como destacado anteriormente, é a maior consumidora de água na bacia do rio Pardo, fato que também pode ser observado na Figura 22, que apresenta as vazões de retirada pela irrigação no mês de maior demanda (setembro) de 2006, as vazões  $Q_{7,10}$ , estimadas com base na vazão observada no rio no período de 1984 a 2013 e seus respectivos percentuais das vazões retiradas pela irrigação em relação à  $Q_{7,10}$  observada.



**Figura 22** – Vazões de retirada pela irrigação no mês de maior demanda (setembro) no ano de 2006, Q7,10 estimada com base na vazão observada e porcentagens das vazões de retirada em relação às Q7,10.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Constata-se nesta figura que as vazões de retirada pela irrigação no mês de maior demanda variaram de 18,8% (Itapetinga) a 87,2% (Inhobim). Neste mesmo mês, a vazão retirada pela irrigação na estação Mascote foi igual a  $24,43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , equivalente a 46,4% da  $Q_{7,10}$  observada. A estação Inhobim, localizada no rio Pardo, apresentou a maior porcentagem da vazão de retirada pela irrigação em relação à  $Q_{7,10}$  observada, representando 87,2%, dos quais 7,2% estão acima da máxima vazão concedida para outorga no Estado da Bahia (onde está localizada a estação Inhobim), que é de 80% da  $Q_{90}$ , como mostra a Tabela 13.

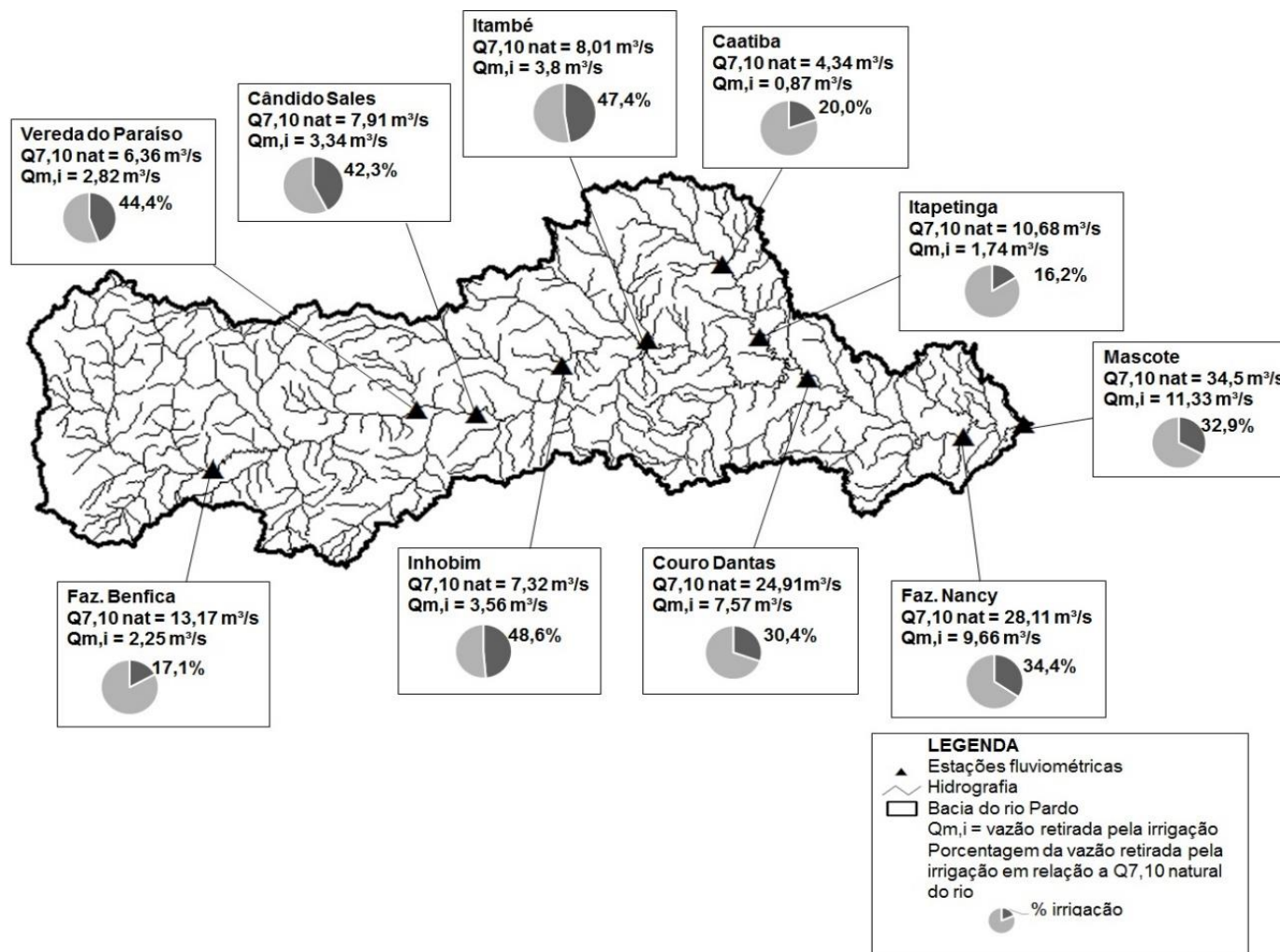
**Tabela 13** – Vazões de referência, máximas outorgáveis e remanescentes definidas por órgãos ambientais de Estados brasileiros

ESTADO	Vazão de referência	Vazão Máxima Outorgável	Vazão Remanescente
MG	$Q_{7,10}$	30% $Q_{7,10}$	70% $Q_{7,10}$
BA	$Q_{90}$	80% $Q_{90}$	20% $Q_{90}$

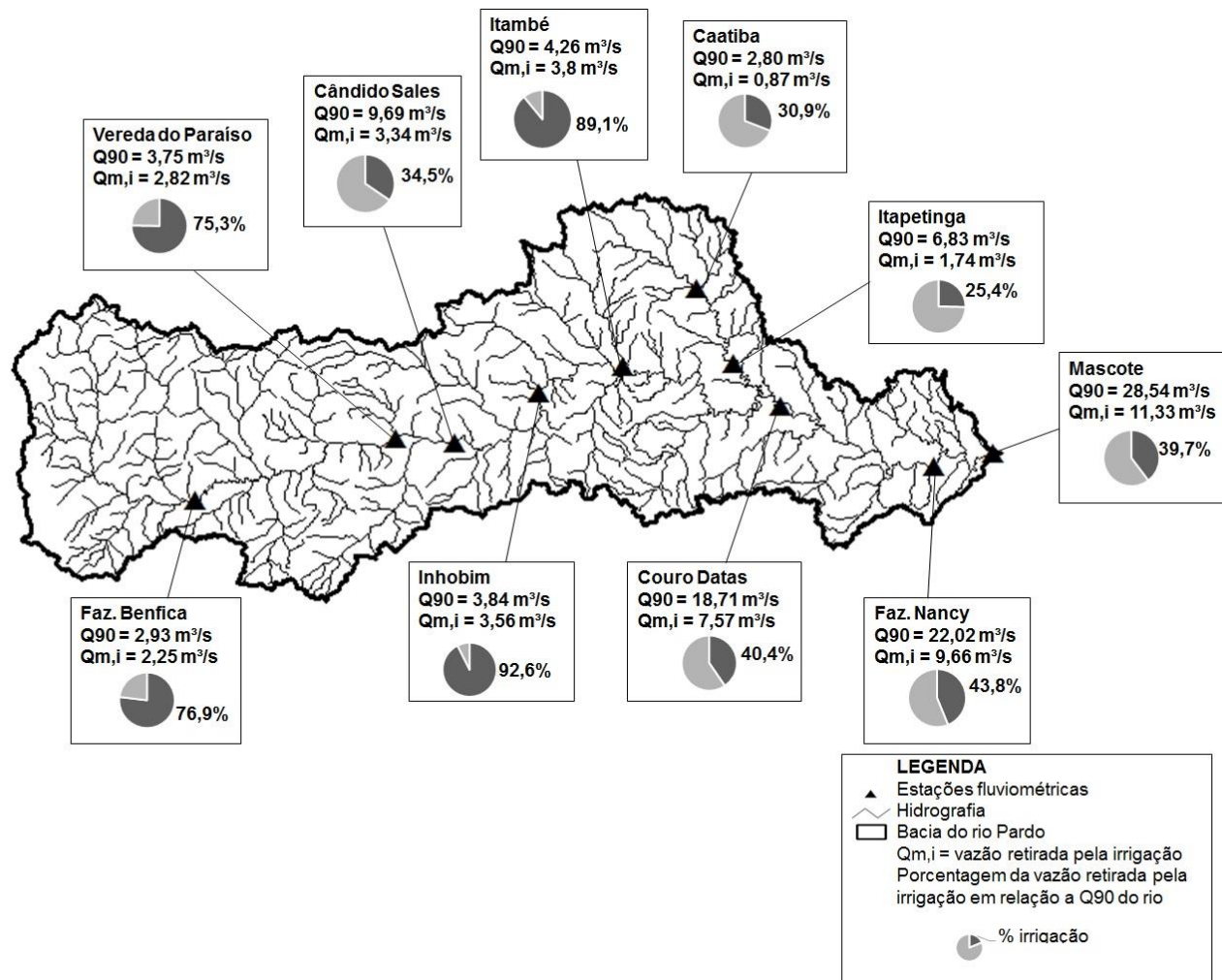
Fonte: elaborado pela autora (2017).

Na Figura 23, estão expostas as vazões de retirada pela irrigação no mês de maior demanda, as vazões  $Q_{7,10}$ , estimada com base na vazão natural no rio, no período de 1984 a 2013 e os percentuais das vazões retiradas pela irrigação em relação à  $Q_{7,10}$  natural. A partir da análise desta figura, pode-se observar que as relações variaram entre 16,2%, na estação Itapetinga e 48,6% na estação Inhobim. Porém, mesmo com valores inferiores aos obtidos em relação à  $Q_{7,10}$  observada, os resultados são considerados bastante relevantes ao serem comparados com a vazão do rio.

Estão dispostas, na Figura 24, as vazões de retirada pela irrigação no mês de maior demanda (setembro) de 2006, a  $Q_{90}$  estimada com base nas vazões observadas no período de 1984 a 2013 e as porcentagens das vazões de retirada em relação às  $Q_{90}$  observadas. Observa-se que os percentuais das vazões de retirada com relação à  $Q_{90}$  observada variaram de 25,4%, na estação Itapetinga, a 92,6%, na estação Inhobim, sendo esses resultados superiores aos obtidos em relação às  $Q_{7,10}$ .



**Figura 23** – Vazões de retirada pela irrigação no mês de maior demanda (setembro), no ano de 2006, Q<sub>7,10</sub> estimada com base na vazão natural e porcentagens das vazões de retirada em relação às Q<sub>7,10</sub> naturais.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2017).



**Figura 24** – Vazões de retirada para irrigação no mês de maior demanda (setembro), no ano de 2006, Q<sub>90</sub> estimada com base na vazão observada e porcentagens das vazões de retirada em relação às Q<sub>90</sub> observadas.

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

#### 4.4. Classificação do uso e cobertura da terra na bacia do rio Pardo e a interação da floresta com o regime hidrológico

Na Tabela 14, estão expostas as categorias de uso e cobertura da terra, bem como a área ocupada por cada classe na bacia hidrográfica do rio Pardo. A partir dela, pode-se observar que as áreas de pastagem representam a categoria de uso da terra predominante na bacia, ocupando 11.370,94 km<sup>2</sup>, ou seja, 31,7% da área analisada, seguida de floresta (31,55%), cultivo (28,01%), urbanização (4,43%), corpos hídricos (2,74%) e 1,58% de nuvem. De acordo com Santos et al. (2010), a grande área ocupada pela agricultura pode interferir diretamente na vazão média anual, dependendo da cultura e das técnicas utilizadas. Ainda segundo esses autores, as vazões médias podem sofrer aumento se o solo for preparado de modo convencional, sem rotação de cultura, por exemplo, podendo reduzir a taxa de infiltração do solo, devido à compactação edáfica, causada pelo tráfego constante de máquinas agrícolas e à redução de matéria orgânica.

Estudos realizados por Fernandes et al. (2012) e Santos et al. (2010), sobre alterações no uso e ocupação da terra, mostraram a presença predominante da classe pastagem na paisagem das áreas analisadas em seus respectivos estudos, reforçando a forte presença da pecuária em diversas regiões do território brasileiro.

**Tabela 14 – Área ocupada pelas categorias de uso e cobertura da terra na bacia do rio Pardo em 2011**

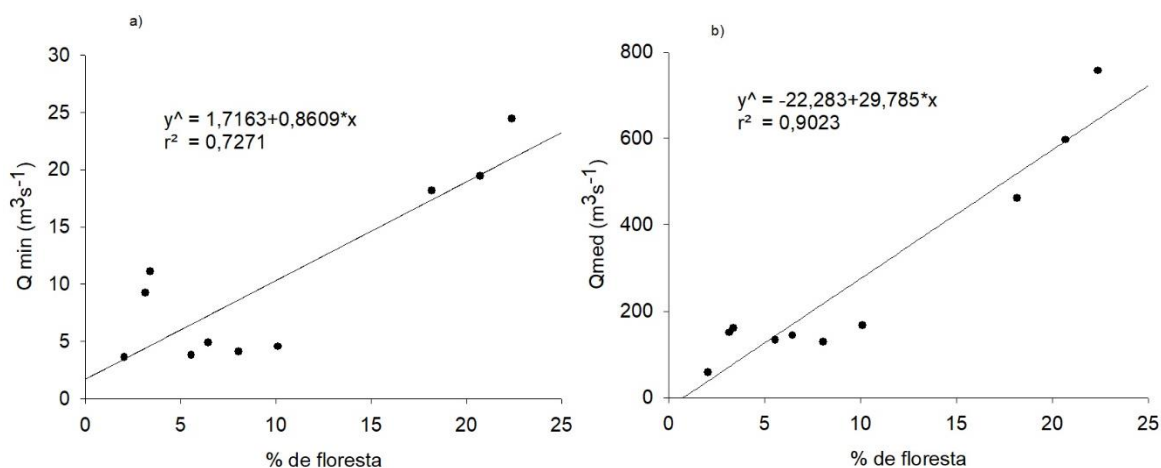
Categorias	Área ocupada	
	km <sup>2</sup>	%
<b>Corpos Hídricos</b>	982,31	2,74
<b>Cultivo</b>	10.047,15	28,01
<b>Floresta</b>	11.316,03	31,55
<b>Nuvem</b>	567,02	1,58
<b>Pastagem</b>	11.370,94	31,70
<b>Urbanização</b>	1.588,23	4,43
<b>TOTAL</b>	35.871,69	100

Fonte: elaborado pela autora (2017).

As vazões mínimas são influenciadas, principalmente, pelo regime de chuvas, as condições de infiltrabilidade do solo e as características fisiológicas da cobertura vegetal (SANTOS et al., 2010), não podendo deixar de destacar as vazões demandadas pelos usos consuntivos. Ao analisar as Figuras 18 e 25a,

concomitantemente, pode-se observar que existem dois pontos acima da linha de tendência, dentro da porcentagem de 5% de floresta. Esses dois pontos se comportaram de forma inesperada, pois correspondem aos valores de vazões mínimas das estações Itapetinga e Fazenda Benfica, que apresentaram os menores percentuais de retirada para irrigação com relação à  $Q_{7,10}$ , sendo respectivamente 18,8% e 20,2%. Assim, os aumentos das retiradas de água na bacia do rio Pardo para atender aos diversos usos podem reduzir as vazões mínimas e comprometer as vazões ecológicas nas épocas de seca.

Na Figura 25b, observa-se uma alta relação linear da  $Q_{med}$  e a porcentagem de floresta ( $R^2= 0,9023$ ). Essa tendência ratifica a importância da floresta na manutenção da vazão, principalmente em relação às matas ciliares, que têm grande importância na estabilidade do solo evitando a erosão nas margens dos rios. Após o desmatamento de florestas naturais, ocorre aumento da vazão média na bacia hidrográfica. Quando são implantadas culturas agrícolas em lugar da vegetação natural, os impactos podem ser diferenciados; no caso de culturas perenes, como o café, a alteração no escoamento é amenizada em comparação com culturas anuais, especialmente quando não é utilizado o plantio direto (COLLISCHONN et al. 2001). O aumento da vazão decorrente da retirada da vegetação tem impactos negativos principalmente nas épocas de seca em que o rio é mantido pela água que infiltrou no solo durante o período chuvoso. Dessa forma, as alterações do uso e cobertura da terra que interferem de forma significativa na redução da taxa de infiltração de água no solo em áreas agrícolas devem ser evitadas, a fim de impedir um desequilíbrio no ambiente.



**Figura 25** – Comportamento da vazão mínima (Qmin) (a) e da vazão média (Qmed) (b) com relação ao percentual de floresta existente na área de influência de cada estação fluviométrica da bacia do rio Pardo (\*\*1%).

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Com a análise da Figura 25, pode-se observar que as vazões mínimas e média se comportaram conforme o esperado. Quanto maior o percentual de floresta, maiores as Qmin e Qmed. Porém a regressão linear simples não foi suficiente para explicar o comportamento da vazão máxima associada ao percentual de floresta das áreas de drenagem de cada estação estudada. Desta forma, foi necessário realizar uma análise de regressão múltipla, tendo como variável dependente a Qmax e, como variáveis independentes, a área de drenagem de cada estação fluviométrica e o percentual de área florestada.

De acordo com estudo realizado por Collischonn et al. (2001), pode-se afirmar que áreas menos florestadas têm tendências a maiores valores de vazões máximas, devido ao aumento do escoamento superficial. No entanto, foi observado que algumas estações não se comportaram dessa forma, provavelmente devido à dimensão da área de drenagem de cada estação fluviométrica. A má qualidade do ajuste pode ser justificada pelo fato de que o aumento da área de drenagem, de montante à jusante, de estações que recebem influência de outras, pode acarretar aumento da porcentagem de floresta existente naquela área de influência (Tabela 15).

Isso acontece com as estações Mascote e Fazenda Nancy, que possuem as maiores áreas de influência da bacia, por estarem localizadas próximas à foz e possuírem maior percentual de floresta, quando comparadas às demais estações. Observa-se, na Tabela 15, que ocorre a presença da classe floresta em toda a



bacia, em vastas extensões territoriais ou em forma de mosaico, com pastagem ou áreas agrícolas de montante para jusante. Geralmente, os valores de vazões mínimas, média e máxima aumentam à medida que a área de influência se eleva, podendo a vazão ser estimada em função da área de drenagem (AQUINO et al., 2008).

**Tabela 15** – Área ocupada por floresta na área de drenagem de cada estação fluviométrica na bacia do rio Pardo em 2011

Estação	Área de drenagem	Área ocupada por floresta	
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%
<b>Caatiba</b>	1.885,27	1.032,17	2,04
<b>Cândido Sales</b>	13.016,95	3.260,76	6,45
<b>Couro Dantas</b>	26.055,89	9.184,45	18,17
<b>Faz. Benfica</b>	5.525,24	1.711,75	3,39
<b>Faz. Nancy</b>	29.592,65	10.465,90	20,70
<b>Itambé</b>	18.502,22	5.112,21	10,11
<b>Inhobim</b>	16.372,84	4.069,21	8,05
<b>Itapetinga</b>	2.853,02	1.591,73	3,15
<b>Mascote</b>	30.657,96	11.316,03	22,39
<b>Vereda do Paraíso</b>	10.822,57	2.807,26	5,55

Fonte: elaborado pela autora (2017).

De acordo com Rocha et al. (2010), a diminuição da cobertura florestal nas bacias hidrográficas, decorrente das ações antrópicas, pode causar alterações no comportamento natural do rio, principalmente com relação às vazões máximas, que podem aumentar. A elevação da Qmax pode ser também associada à compactação da camada superficial do solo causada pelo forte uso de máquinas de grande porte em áreas agrícolas ou de pastagem ao longo da bacia (TUCCI e CLARKE, 1997). Ao realizar a regressão linear múltipla, para melhor entendimento do comportamento da vazão máxima, obteve-se a equação 23. A partir dela, pode-se observar que a classe área de drenagem apresentou comportamento positivo e a classe floresta apresentou comportamento negativo, inferindo que a área de drenagem tem influência diretamente proporcional às vazões máximas da bacia e inversamente proporcional à área florestada. Quando a área de drenagem se eleva, aumenta a vazão máxima, quando há um aumento da área florestada, diminui a vazão máxima, pois reduz o escoamento superficial. Contudo, as grandes cheias são pouco influenciadas pela porcentagem de floresta, pois ocorrem em grandes períodos de retorno (TUCCI e CLARKE, 1997).

$$Y = 145,9611 + 0,06292 AD - 0,07568 FL \quad r^2 = 0,60408 (**1\%) \quad (23)$$

Onde:

Y= Vazão máxima ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

AD = Área de drenagem ( $\text{km}^2$ ); e

FL = Área florestada ( $\text{km}^2$ ).

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- As precipitações médias anuais variaram de 703,72 mm, na região central da bacia, a 1325,05 mm, mais próximo à foz, equivalente a 88,29% numa área de 30.657,96 km<sup>2</sup>, sendo a precipitação média anual de longa duração de 886,25 mm;
- As vazões médias de longa duração aumentam da cabeceira do rio em direção à sua foz, variando de 4,8 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> a 63,03 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>;
- Somente 7,6% do total precipitado atingem a seção de deságue da área da bacia;
- A irrigação foi o maior segmento de usuário da água na bacia do rio Pardo, responsável por mais de 95% do total consumido por todos os segmentos e em todas as áreas de drenagem das estações analisadas;
- O total de água consumido pela irrigação e pelos abastecimentos animal e urbano sofreram acréscimo durante o período de 1984 a 2013, enquanto a vazão demandada pelo abastecimento rural decresceu com o tempo;
- As vazões consumidas foram, de modo geral, muito expressivas em relação à vazão média de longa duração do rio, representando de 35,23 a 170,58% das vazões dos rios nas seções analisadas;
- As áreas ocupadas por pastagem representam a categoria de uso da terra predominante na bacia;
- A análise quantitativa mostrou que existe relações entre a porcentagem de floresta e o comportamento hidrológico, indicando que esta categoria influencia positivamente no comportamento das vazões mínimas e médias dos rios.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P. Estratégias de manejo de irrigação: exemplos de cálculo. Embrapa Milho e Sorgo. **Circular Técnica**, 2010.
- ALENCAR, D. B. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 26, n. 1, 2006.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. FAO irrigation and drainage. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998, 328 p.
- ALMEIDA, N. A.; BATISTA, A. N.C.; MELO, J.A.B.; GUIMARÃES, A. P.G. Utilização de imagens CBERS no diagnóstico do uso e ocupação da terra na microbacia do riacho Maracajá, Olivedos, PB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009, p. 1927-1934.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Memorial descritivo do cálculo da demanda humana de água contida no documento - Base de referência do plano nacional de recursos hídricos**. Brasília: Superintendência de Outorgas da Agência Nacional de Águas, 2003, 30 p. Nota Técnica 010/SPR/2003.
- AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M.; SOUZA FILHO, E. E. Relações entre o regime hidrológico e os ecossistemas aquáticos da planície aluvial do rio Araguaia. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, 2008.
- 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.
- BARBOSA, S. E. S; BARBOSA JUNIOR, A. R.; SILVA, G. Q. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 64, 2005.
- BERNARDES, C.; SOUSA JÚNIOR, W. C. de. Pagamento por serviços ambientais: experiências brasileiras relacionadas à água. **Encontro Nacional da Anppas**, v. 5, p. 4-7, 2010.
- BORMANN, H.; BREUER, L.; GRAFF, T.; HUISMAN, J. A. Analyzing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: a comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis. **Ecological Modelling**, v. 209, p. 29-40, 2007.
- BORSATO, F. H.; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences**. Maringá, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.

BRAGA, R. **Planejamento urbano e recursos hídricos**. Rio Claro: Laboratório de planejamento Municipal – IGCE – UNESP. 2003. p. 113-127.

BRASIL, L. N. 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial**, 1997.

BROOKS, K. N.; P. F. FFOLLIO; H. M. GREGERSEN; J. L. THAMES. **Hydrology and the Management of Watersheds**. Iowa State University Press, 1991, 391 p.

CHAVES, H. M. L.; BRAGA, B., DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. D. Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do “programa do produtor de água” (ANA): II. Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, 2004.

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

COSTA FILHO, L. V. **Análise do Comportamento Hidrológico em Distintos Usos da Terra na Região Noroeste do Paraná**. Paraná-PR: UFPR, 2014, 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006, 306 p.

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

GASSER, R. S. **Caracterização Geológica, Petrográfica, Geoquímica e Potencialidades Metalogenéticas da Formação Água Preta, Bacia do Rio Pardo, BA**. Salvador-BA: UFBA, 2012, 88 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal da Bahia.

Global Water Partnership (GWP) - **Technical Advisory Committee (TAC)**, 2000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**, 2010.

LATUF, M. O. **Impacto da mudança do uso da terra no comportamento hidrológico das bacias do rio Preto e ribeirão Entre Rios**. Viçosa-MG: UFV, 2005, 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

LIMA, W. P. **Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências Florestais, 2. ed., 2008, 253 p.

MELO NETO, J. O. **Análise da sensibilidade escalar do modelo hidrológico Swat**. Lavras-MG, UFL, 2012, 150 p. Dissertação (Mestrado em recursos hídricos) – Universidade Federal de Lavras.

MONTEIRO, J. H. P.; ZVEIBIL, V. Z. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. In: **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2006, p. 1-7.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, 1999, 3. ed, 308 p.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, F. A.; DE MELO, E. L.; FIGUEIREDO, J. C.; PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. D. G. Impacto do uso de vazões naturais em estudos hidrológicos. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2007.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 9-15, 2011.

PEREIRA, S. B.; ALVES SOBRINHO, T.; FEDATTO, E.; PEIXOTO, P. P. P.; BONACINA, R. **Variação temporal do comportamento hidrológico na bacia do Rio Dourados no período de 1973 a 2002**, 2007.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R.; NOVAES, L. D.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; TEIXEIRA, A. D. F. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na Bacia do Paracatu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 199-210, 2007.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; KOETZ, M. **Estudo da vazão em cursos d'água**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, 2006, 151 p. (Caderno didático 43).

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis**. Heidelberg: Springer, 2006, 467 p.

ROCHA, F. A.; SATURNINO, M. C. O.; MELO, A. R. B.; BARROS, F. M.; BARRETO, L. V. Variáveis de qualidade de água influenciadas pelo tipo e época de amostragem, no rio Catolé-BA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, 2010.

RODRIGUEZ, R. D. G.; PRUSKI, F. F.; NOVAES, L. F. D.; RAMOS, M. M.; SILVA, D. D. D.; TEIXEIRA, A. D. F. Estimativa da demanda de água nas áreas irrigadas da bacia do rio Paracatu. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 172-179, 2007.

RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: estudo de caso da bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 2004, 111 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

SAMPAIO, N. Invisibilidade das comunidades tradicionais: rio Pardo no Sudoeste da Bahia. **Anais do I Simpósio Baiano de Geografia Agrária e Semana de Geografia da UESB**. Vitória da Conquista: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2013, 21 p.

SAMPAIO, N.; VARGAS, M. A. M. As Paisagens do Rio Pardo Desvendadas pela Comunidade Ribeirinha no Sudoeste da Bahia: Conversações entre o Percebido e o Vivido. **Ateliê Geográfico**, v. 4, n. 4, 2011.

SANTOS, E. A. **Influência do uso do solo no regime hidrológico da bacia do rio Lontra**. Viçosa-MG: UFV, 2010, 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

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

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira De Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 4, n. 3, 2013.

SANTOS, V. O.; FERREIRA, V. O. Efeitos das Mudanças no Uso e Ocupação do Solo na Disponibilidade Hídrica de Sub-Bacias Hidrográficas Representativas da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Estado de Minas Gerais. **Horizonte Científico** (Uberlândia), v. 8, 2014, 01-20 p.

SILVA, L. S.; FRANÇA, C. A. S. S. de M. SIG como ferramenta de mapeamento das formas de uso e ocupação da terra na APA Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...**, Foz do Iguaçu: INPE, 2013, 899 p.

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

TELLES, D. A. Água na Agricultura e Pecuária. In: **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002, p. 305-336.

TUCCI, C. E. M. Usos e impactos dos recursos hídricos. In: TUCCI, C.E.M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. São Paulo: Ministério do Meio Ambiente (Secretaria de Qualidade Ambiental)/ Rhama Consultoria Ambiental, 2006, 100-124 p.

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

WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. **Journal of Hydrology**, p. 217-230, 1993.

XAVIER, A. C., KING; C. W. & SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, 2015.