



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA  
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**BALANÇO HIDRÍCO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO  
– BA**

**TOMÁS BECKET PEREIRA DOS SANTOS**

**BARREIRAS-BA  
FEVEREIRO-2019**

**TOMÁS BECKET PEREIRA DOS SANTOS**

**BALANÇO HIDRÍCO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO  
– BA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da  
Universidade Federal do Oeste da Bahia,  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
Engenheiro Civil.

Orientador: Dr. Luís Gustavo Henriques do  
Amaral.

**BARREIRAS-BA  
FEVEREIRO-2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

S237 Santos, Tomás Becket Pereira dos.

Balanço hídrico da Bacia Hidrográfica do rio Branco – BA. Tomás Becket Pereira dos Santos. – 2019.

55f:il.

Orientador Prof. Dr. Luís Gustavo Henriques do Amaral

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, Barreiras, BA, 2019.

1. Recursos Hídricos. I. Amaral, Luís Gustavo Henriques do. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 333.91

---

**TOMÁS BECKET PEREIRA DOS SANTOS**

**BALANÇO HIDRÍCO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO  
– BA**

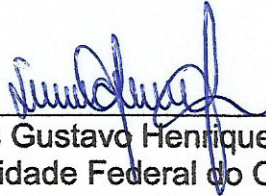
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.


Orientador: Dr. Luís Gustavo Henriques do Amaral.

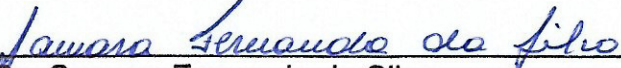
**Aprovado em 5 de Fevereiro de 2019**

**Banca Examinadora**

Orientador: \_\_\_\_\_

  
Dr. Luís Gustavo Henriques do Amaral  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

  
Dr. José Yure Gomes dos Santos  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

  
M.Sc. Samara Fernanda da Silva  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

*Aos Meus Pais, Lionor Gama e Neusdete Pereira, por todo esforço,  
confiança e esperança.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus que me sustentou em toda essa jornada, e mesmo diante das lutas me forneceu esperança, paciência e sabedoria para chegar aos meus objetivos.

Aos meus pais Lionor Gama dos Santos e Neusdete Pereira dos Santos, por toda compreensão, compaixão, carinho e confiança; eles nunca desistiram de querer o melhor para minha vida. Ajudaram-me em todas as necessidades com votos de confiança para um futuro sempre promissor. Pai e mãe vocês são meu alicerce principal e aqui eu rendo agradecimentos por tudo o que realizaram por mim.

Agradeço a minha irmã Leidaiany, que sempre partilhava comigo a sua vivência Universitária e pessoal; sempre me entusiasmou a querer o melhor e aproveitar as oportunidades. Também a você o meu muito obrigado.

Gratidão a Milena Rocha, que foi muito compreensiva, amorosa e soube esperar quando necessário, mas se uniu em esperanças a mim durante todo esse tempo. E a toda minha família, que entre cobranças e consolos me ajudaram a crescer nesse período. Aos meus amigos principalmente aqueles que rezaram por mim, nos momentos mais difíceis vocês foram muito importantes para que as graças de Deus chegassem a minha vida.

Agradecimentos à equipe da empresa Construvale em especial João Paulo Melo Martini, que proporcionou a oportunidade para o meu crescimento profissional através do estágio, meu futuro como profissional não poderia ser melhor sem essa oportunidade.

Ao meu Orientador Luís Gustavo Henriques do Amaral, pela disponibilidade, empenho, conselhos e interesse, dando todo suporte e esperanças de que ia dar tudo certo, auxiliando na construção de um ótimo trabalho.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

## RESUMO

A disponibilidade hídrica é primordial para a qualidade de vida humana e para manutenção dos processos naturais do meio ambiente. Principal fonte hídrica da região Oeste da Bahia, a bacia do rio Grande possui grande potencial turístico e econômico para a região e tem como sua segunda maior sub-bacia a bacia hidrográfica do rio Branco. Imbuída nas áreas de expansão do agronegócio a bacia do rio Branco vem sofrendo intensas modificações no uso e ocupação do solo que podem causar alterações em seu regime hidrológico. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo caracterizar o regime hidrológico da bacia do rio Branco. Para tanto foi realizada a delimitação da bacia e sua caracterização fisiográfica, o tratamento e a análise dos dados de precipitação e vazão, a quantificação das variáveis anuais do balanço hídrico e a análise do comportamento hidrológico da bacia para o período compreendido entre os anos de 1977 a 2006. A bacia possui forma alongada, sendo pouco favorável a enchentes, apresenta rede de drenagem com cursos de 4º ordem, além de uma densidade de drenagem pobre. O relevo possui uma amplitude altimétrica de 469 m e declividades que variam de 0 a 88%, predominando a classe de 0 a 2% que classifica a bacia como de relevo plano. Observou-se uma redução de 16,1% da precipitação na bacia, e de 14,6% na evapotranspiração. Já o coeficiente de escoamento de longo prazo apresentou diminuição de 7,5%, enquanto o escoamento reduziu-se 23,2% no período analisado. Diante disso verifica-se que o decréscimo nas vazões da bacia do rio Branco sofre influência da redução nos totais precipitados e também do uso e ocupação do solo, devido à utilização de água para a irrigação.

**Palavras-chave:** precipitação; evapotranspiração; vazão; caracterização fisiográfica; ano hidrológico.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Municípios da região Oeste da Bahia.....	13
Figura 2: Localização da bacia do rio Grande em relação à bacia do São Francisco..	15
Figura 3: Ilustração dos processos que compõe o ciclo hidrológico .....	19
Figura 4: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Branco.....	23
Figura 5: Localização das estações pluviométricas selecionadas.....	28
Figura 6: Localização das estações fluviométricas selecionadas.....	30
Figura 7: Mapa de ordem dos cursos d'agua .....	35
Figura 8: Perfil longitudinal do rio Branco.....	37
Figura 9: Mapa altimétrico da bacia do rio Branco .....	38
Figura 10: Mapa de declividades da bacia do rio Branco .....	38
Figura 11: Mapa das áreas de influência das estações pluviométricas para o período de janeiro de 1977 a agosto de 1984.....	40
Figura 12: Mapa das áreas de influência das estações pluviométricas para o período de setembro de 1984 a dezembro de 2006.....	41
Figura 13: Precipitação média mensal no período de 1977 a 2006.....	42
Figura 14: Precipitação total anual na bacia do rio Branco e nas estações selecionadas para os anos hidrológicos 1977/1978 à 2005/2006.....	43
Figura 15: Vazões médias mensais nas estações fluviométricas e na Bacia do rio Branco, no período de 1977 a 2006.....	44
Figura 16: Comportamento das variáveis do balanço hídrico e do coeficiente de escoamento de longo prazo da bacia do rio Branco para o período hidrológico de 1977/1978 a 2005/2006 .....	47

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1: Características das estações pluviométricas selecionadas .....	28
Quadro 2: Características das estações fluviométricas selecionadas .....	30
Tabela 3: Características fisiográficas da bacia do rio Branco .....	34
Tabela 4: Valores de características físicas em outras bacias .....	35
Tabela 5: Comprimentos dos cursos d'água por ordem de classificação .....	36
Tabela 6: Áreas de influência das estações pluviométricas para o período de janeiro de 1977 a agosto de 1984 .....	40
Tabela 7: Áreas de influência das estações pluviométricas para o período de setembro de 1984 a dezembro de 2006 .....	41
Tabela 8: Valores anuais das variáveis do balanço hídrico e do coeficiente de escoamento de longo prazo na bacia hidrográfica do rio Branco, para o período hidrológico de 1977/1978 a 2005/2006. ....	46

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	11
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	BACIA DO RIO GRANDE E BACIA DO RIO BRANCO: USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	13
2.2	BACIA HIDROGRÁFICA: DEFINIÇÃO, FORMAS DE DELIMITAÇÃO E PRINCIPAIS PARÂMETROS. ....	16
2.3	O CICLO HIDROLÓGICO.....	18
2.3.1	Escoamento em uma bacia e fatores intervenientes .....	19
2.3.2	Balanço hídrico e coeficiente de escoamento de longo prazo .....	20
2.4	FATORES INTERVENIENTES NO CICLO HIDROLÓGICO.....	21
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
3.2	DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO .....	23
3.3	CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA DO RIO BRANCO.....	25
3.4	OBTENÇÃO E SELEÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO.....	27
3.4.1	Precipitação.....	27
3.4.2	Vazão.....	29
3.5	QUANTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO BALANÇO HÍDRICO.....	30
3.6	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA .....	33
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1	CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA .....	34
4.2	PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO .....	39
4.3	VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO.....	44
4.4	BALANÇO HÍDRICO .....	45
5.	CONCLUSÃO .....	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento primordial à qualidade de vida humana, porém é necessário que sua disponibilidade à população e aos demais seres vivos seja de forma permanente e em quantidade e qualidade adequadas (BRITO *et al.*, 2007). No entanto, conforme UNESCO (2003), apesar da quantidade de água presente no planeta, cerca de 1,1 bilhão de habitantes sofrem com sua escassez, principalmente para o uso adequado.

Nesse sentido, o Brasil é reconhecido como o principal detentor de reservas hídricas superficiais do mundo, mas apesar de possuir uma situação privilegiada no que diz respeito à disponibilidade de água, sua distribuição não é uniforme no Território Nacional (TUCCI, 2001).

A região Oeste do estado da Bahia é destaque em recursos hídricos, e possui como sua principal fonte hídrica superficial a bacia hidrográfica do rio Grande. Conforme Moreira e Silva (2010), essa bacia tem a segunda maior importância para a formação das vazões do rio São Francisco, entretanto há ocorrência de conflitos pelo uso da água. Segundo Gaspar e Campos (2007), a região do Oeste baiano tem como principal manancial subterrâneo o Sistema Aquífero Urucuia, que tem importância estratégica para suprir as crescentes demandas de água e regulação de vazões na margem esquerda do médio rio São Francisco.

Essa região tornou-se uma potência agrícola pela abundância de terras e recursos naturais. Além disso, detém uma privilegiada rede hidrográfica, topografia plana e clima com estações definidas. Todos esses elementos foram possíveis à expansão das lavouras de sequeiro e à implantação dos projetos de irrigação (AIBA, 2018).

Para ser destaque na Bahia e no Brasil, a região Oeste passou por um intenso processo de expansão agropecuária por volta das décadas de 1980 e 1990, acarretando profundas modificações no que se refere ao uso e ocupação do solo. Diante disso a Bahia tornou-se um grande produtor nacional de soja, milho, algodão, café e frutas (MENDONÇA, 2006).

EMBRAPA (2002) destaca que a intensa mudança no uso das terras tem produzido impactos ambientais antes inexistentes na região Oeste, tais como: erosão hídrica, alteração da fauna e diminuição da vazão dos rios.

Os recursos hídricos sofrem modificações em decorrência da expansão agropecuária em uma bacia, e é de suma importância ter o conhecimento da disponibilidade de água para planejamento do uso do solo e de novas áreas a serem irrigadas. A implantação de projetos de irrigação sem a previsão da vazão possível a ser retirada dos mananciais de uma bacia, pode acarretar na falta d'água em áreas situadas à jusante (AMORIM *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2003).

A bacia do rio Branco, sub-bacia do rio Grande, possui uma área de preservação ambiental (APA) na sub-bacia do rio de Janeiro com a existência de diversos pontos turísticos, principalmente cachoeiras. Além disso, contém várias propriedades rurais imbuídas no agronegócio, tornando a bacia do rio Branco destaque para a economia da região. Além disso, o rio Branco constitui limite territorial entre os municípios de Barreiras, Riachão das Neves e parte de Angical.

Mendes (2007) alerta que o rio Branco já sofre com o decréscimo de sua disponibilidade hídrica, e segundo Almeida e Moreira (2014) essa queda pode ser oriunda da expressiva quantidade de outorgas de utilização da água para a irrigação. Por outro lado, Nogueira (2017) identificou uma redução expressiva nos totais anuais precipitados na bacia do rio de Janeiro, que é o maior afluente do rio Branco, sugerindo que a redução na vazão do rio de Janeiro está relacionada à redução nos totais precipitados na bacia.

Perante os fatos dispostos, esse trabalho foi produzido para ampliar o conhecimento acerca do comportamento hidrológico da bacia do rio Branco e verificar possíveis alterações nos totais precipitados e no regime de vazões da bacia.

O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar o regime hidrológico da bacia do rio Branco – Bahia. Os objetivos específicos foram: (i) realizar a caracterização fisiográfica da bacia; (ii) e a análise do balanço hídrico da bacia;

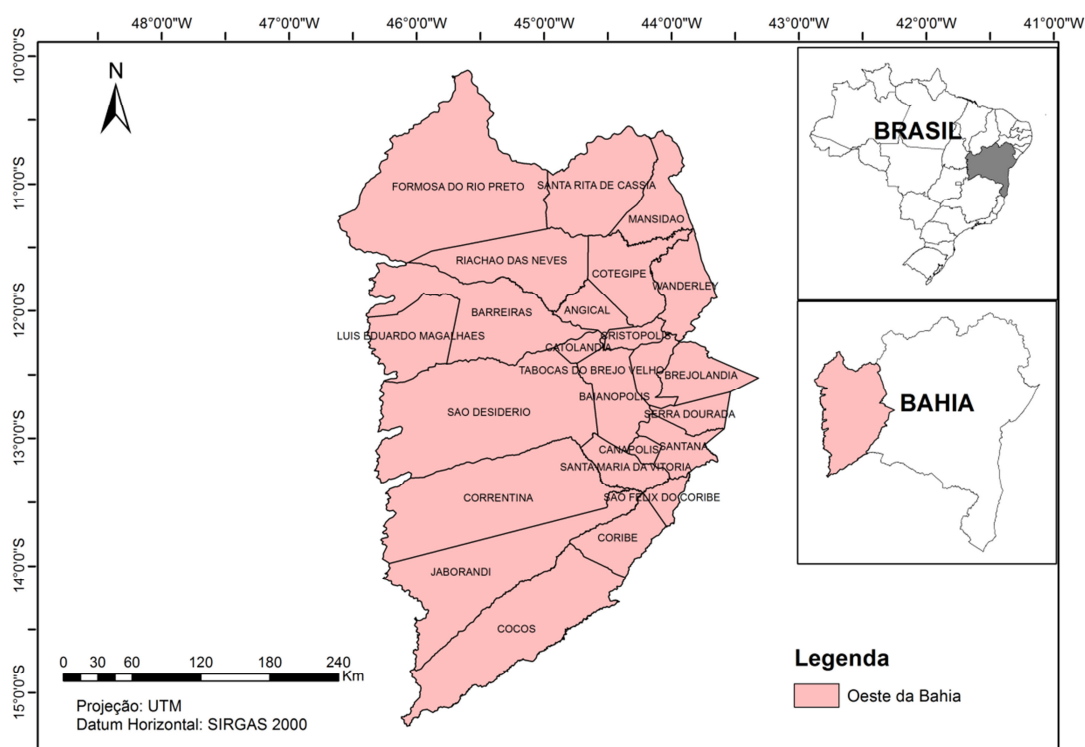
## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 BACIA DO RIO GRANDE E BACIA DO RIO BRANCO: USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Conforme o IBGE (2017) a região do Oeste da Bahia possui uma área de aproximadamente 116.787 km<sup>2</sup>, ou seja, 20,7% do território estadual; além de uma população estimada em 650 mil habitantes que corresponde a 4,38 % da população do estado. No entanto, essa região alcançou no ano de 2015 um PIB da ordem de R\$ 17 bilhões, que equivale a 34,2% do PIB agropecuário da Bahia e representa uma elevada fatia da riqueza produzida pelo setor (AIBA, 2018).

A região é composta por 24 municípios, sendo eles: Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, Correntina, Catolândia, São Desidério, Santa Maria da Vitória, Santa Rita de Cássia, Santana, Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Cocos, Serra Dourada, São Félix do Coribe, Coribe, Angical, Cotegipe, Cristópolis, Baianópolis, Tabocas do Brejo Velho, Wanderley, Mansidão, Brejolândia, Canápolis e Jaborandi (Figura 1).

Figura 1: Municípios da região Oeste da Bahia



Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

Destaque em diversos estudos, a macrorregião Oeste Baiano se enquadra como um importante vetor de desenvolvimento do estado, possuindo uma relação sólida com os estados brasileiros da região central. E de acordo com dados do IBGE (PESQUISA AGRÍCOLA MUNICIPAL, 2016), a região possui 92% de toda a produção de grãos do estado, ao passo que ainda possui um grande potencial de expansão (SEI, 2017).

Reis (2014) relata que existe uma fatia do Oeste Baiano denominada como região Agroexportadora; essa porção é formada pelos municípios de Barreiras, Correntina, Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães e São Desidério. E segundo Almeida e Moreira (2014), essa fatia da região possui uma matriz produtiva diversificada, tecnificada e qualificada.

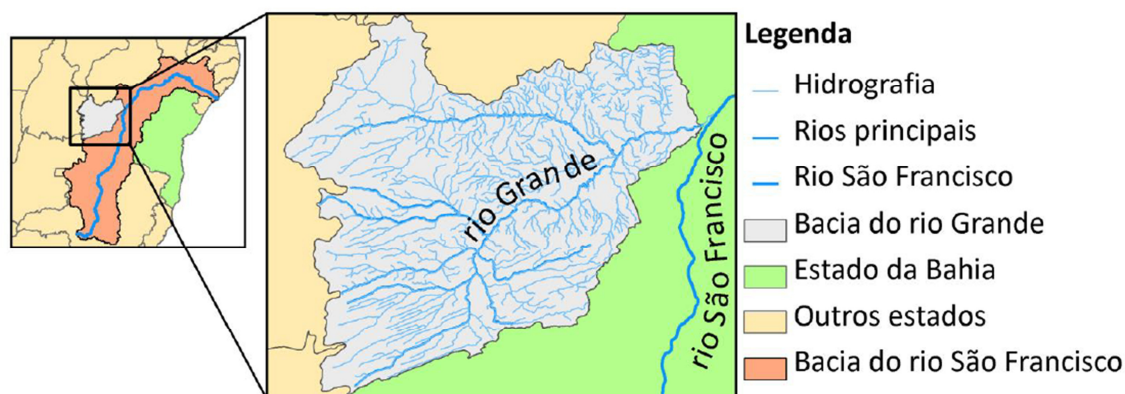
Os vetores desse desenvolvimento surgiram a partir do final da década de 1970, seguindo pela década de 1980, compondo uma nova conjuntura econômica no estado da Bahia. Na época o estado desenvolvia novas ações para a projeção das demandas dos mercados nacional e, principalmente, internacional (SANTOS, 2016).

Os novos usos do território do Oeste da Bahia tiveram influencia forte do estado através do lançamento do programa PRODECER II que inseriu o Cerrado baiano na modernização agrícola brasileira. Além disso, por volta da década de 1970, houve a instalação da CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco) e da SUDENE/FINOR (Superintendência do desenvolvimento do Nordeste/Fundo de Investimentos do Nordeste) na região (SANTOS, 2016; ALVES, 1999).

Além do incentivo dos programas de governo, outros fatores que proporcionaram a difusão do agronegócio no Oeste da Bahia foram a topografia plana, a existência de solos agricultáveis, o clima favorável e a grande disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas (JANONI *et al.*, 2016).

Principal fonte hídrica da região Oeste, a sub-bacia do rio Grande (Figura 2) tem a maior contribuição potencial nas vazões do rio São Francisco, alcançando cerca de 14,5% do total de todos afluentes. Apesar de não apresentar as maiores precipitações médias entre as sub-bacias, ela representa 12,6% da área de drenagem da bacia do rio São Francisco, possuindo então os maiores volumes precipitados (PEREIRA *et al.*, 2007).

Figura 2: Localização da bacia do rio Grande em relação à bacia do São Francisco



Fonte: (ALMEIDA e MOREIRA, 2014).

Na margem esquerda do rio Grande, além dos rios ribeirão da Estiva, rio Roda Velha, rio das Fêmeas, ribeirão das Pedras e rio de Ondas, o rio Branco se destaca como um de seus principais afluentes (DI BELLO, 2005).

Sendo uma sub-bacia do rio Grande, a bacia do rio Branco também se inseriu no contexto de desenvolvimento econômico e turístico da região Oeste da Bahia. De acordo com Janoni *et al.*, (2016), a partir da década de 1990 a pressão sobre os recursos hídricos na bacia do rio Branco, se intensificou devido à concessão de outorgas para a implantação da agricultura irrigada, resultando numa intensa modificação do uso e ocupação do solo.

A principal sub-bacia do rio Branco é a bacia do rio de Janeiro, que possui uma área de preservação ambiental (APA), criada pelo Governo do Estado da Bahia em 1993. Essa APA é um patrimônio ambiental de expressiva importância para a bacia do rio Branco, e abrange uma área de mais de 3.000 km<sup>2</sup> da bacia. Apesar da relevância que possui a APA, tem-se observado que a vegetação nativa reduziu-se significativamente com o passar dos anos, enquanto que as áreas agrícolas aumentaram (NOGUEIRA *et al.*, 2018; OLIVEIRA, 2018).

## **2.2 BACIA HIDROGRÁFICA: DEFINIÇÃO, FORMAS DE DELIMITAÇÃO E PRINCIPAIS PARÂMETROS.**

Segundo Moreira e Silva (2010), bacia hidrográfica consiste em uma área formada por terras e canais de drenagem, em que o escoamento superficial resultante das precipitações converge para um único ponto de saída, ponto esse chamado de exultório ou foz da bacia. Além disso, os desníveis presentes no relevo da bacia é que orientam os cursos d'água para pontos mais baixos.

Um elemento crucial na definição de uma bacia é o divisor de águas; ele equivale a uma linha imaginária que divide o escoamento das águas sobre o terreno. O divisor de águas é traçado por meio da análise do relevo, conforme a direção do escoamento, que vai dos pontos mais altos aos pontos mais baixos do terreno. A partir do conhecimento desses divisores de água inicia-se o processo de delimitação de uma bacia (COLLISCHONN e TASSI, 2010).

A delimitação de uma bacia hidrográfica pode ocorrer por meios manuais ou digitais, com o uso de computadores. No processo digital, segundo Collischonn e Dornelles (2015), podem existir três formas principais de representação do relevo. Primeiramente o relevo pode ser representado utilizando linhas digitalizadas representando as curvas de nível. A segunda representação é por meio de faces triangulares inclinadas formadas a partir de três pontos, com cotas e coordenadas conhecidas; também chamadas de TIN (*triangular irregular network*). O terceiro método é através do MDE (modelo digital de elevação).

Um MDE conforme Oliveira *et al.*, (2010), é a representação das informações de relevo por uma estrutura numérica de dados, correspondente à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno. Luiz *et al.*,(2007) diz que o MDE é composto de uma seção da superfície dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x, y), e que cada pixel tem um valor de intensidade correspondente à elevação.

Collischonn e Dornelles (2015) ressaltam que diversos são os fatores que influenciam no processo de interação da água em uma bacia hidrográfica. Têm-se então os fatores morfométricos associados ao relevo da bacia, dentre eles pode-se incluir: área de drenagem, comprimento do curso d'água principal e a declividade. Esses elementos e outros adicionais são descritos a seguir:

- **Área da bacia hidrográfica:** É a uma característica fundamental, que define a potencialidade hídrica de uma bacia. Sendo uma área projetada entre os seus divisores de água. (COLLISCHONN e TASSI, 2010).
- **Perímetro da bacia:** é compreendido como o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas da bacia (TONELLO, 2005).
- **Forma da bacia:** a forma da bacia é a característica que influencia diretamente na resposta às precipitações. Podem ser alongadas, menos alongadas ou circulares. Considerando as variáveis (solos, geologia, declividade) de forma igualitária, pode-se concluir que as bacias de formato mais alongado obtém resposta mais lenta às chuvas, enquanto que em formato menos alongado essas respostas são mais eficientes. Já o formato mais circular causa um acúmulo temporal do escoamento superficial, pois ocorre um escoamento de muitos afluentes ao mesmo tempo no exutório (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).
- **Declividade:** A declividade relaciona-se com o controle de boa parte da velocidade oriunda do escoamento superficial. Causa interferência no tempo que a água da chuva leva para concentrar-se nos canais de escoamento da rede de drenagem das bacias. Influencia os picos de enchente, na possibilidade de infiltração, na susceptibilidade para erosão dos solos, e demais aspectos (VILLELA e MATOS, 1975).
- **Amplitude altimétrica:** Representa a diferença entre a maior e a menor altitude da bacia, tendo relação com a velocidade do escoamento e as taxas de erosão (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).
- **Densidade de drenagem:** é definida pelo quociente entre a soma dos comprimentos de todos os cursos d'água pertencentes à bacia, e a área da bacia (SILVEIRA, 2014).

- **Coefficiente de compacidade:** é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de área igual a da bacia (VILLELA e MATTOS, 1975).
- **Fator de forma:** É a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. E de acordo com Villela e Matos (1975), essa característica indica a probabilidade de ocorrer ou não uma enchente na bacia.
- **Ordem dos cursos d'água:** a ordem dos cursos d'água é uma classificação que traduz o nível de ramificação e bifurcação de sua rede de drenagem. Na ordenação são incluídos todos os canais fluviais, sejam eles: perenes, intermitentes ou efêmeros (VILLELA e MATOS, 1975). Seguindo a ordem de Strahler (1957), os canais de primeira ordem são os que não possuem ramificações, sendo os menores; canais de segunda ordem originam-se pela confluência de dois canais de primeira ordem; canais de terceira ordem pela confluência de dois canais de segunda ordem, e assim sucessivamente.
- **Tempo de concentração:** é o tempo necessário para uma gota de água de chuva atingir a região mais remota da bacia, desde o início do escoamento até sua chegada ao exutório. Esse tempo é comumente estimado através da análise de características geomorfológicas da bacia hidrográfica, apesar de existirem métodos radioativos os químicos (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

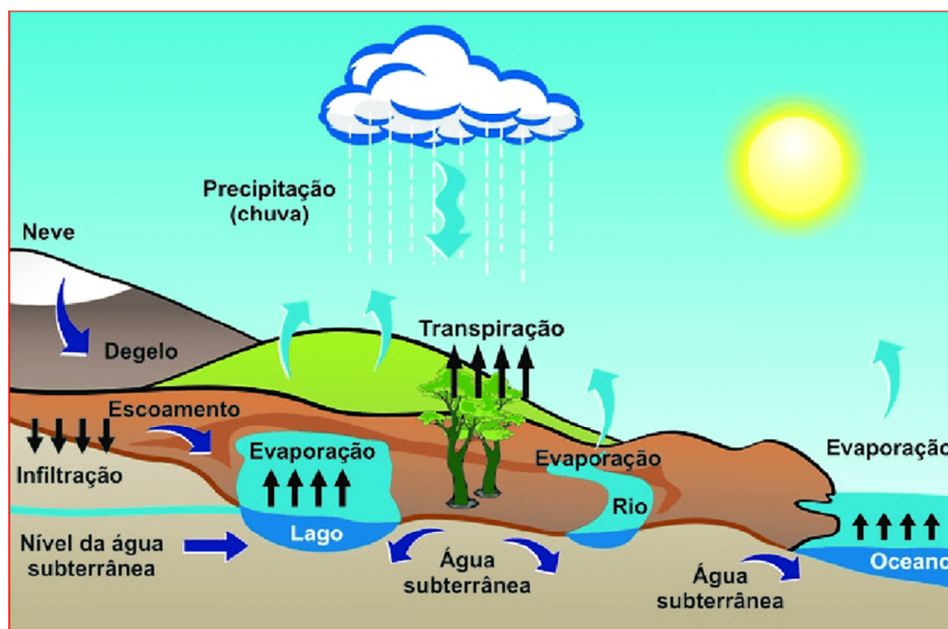
### 2.3 O CICLO HIDROLÓGICO

O Sol com seu potencial energético é o principal responsável pela circulação da água na Terra. Ele realiza o aquecimento da superfície terrestre ocasionando a evaporação da água dos oceanos, rios, lagos e do solo, bem como a transpiração da água pelas plantas. Esse vapor resultante é transportado pelas massas de ar que se movimentam constantemente. Em determinadas condições atmosféricas o vapor de água é condensado e forma nuvens, podendo resultar em precipitação (VILLELA e MATOS, 1975; COLLISCHONN e TASSI, 2010).

O ciclo hidrológico é um fenômeno global de conceito relativamente simples, porém muito complexo na prática. Ele é formado por ciclos inter-relacionados com extensão continental, regional e local, sendo subdividido em subsistema atmosférico e subsistema subterrâneo. O subsistema atmosférico é composto por precipitação, interceptação, transpiração, evaporação. Enquanto que o subsistema subterrâneo compõe: infiltração, recarga subterrânea, escoamento subsuperficial e escoamento subterrâneo (DI BELLO, 2005).

Na Figura 4, pode-se ter uma ideia do esquema dos processos que ocorrem no ciclo hidrológico.

Figura 3: Ilustração dos processos que compõe o ciclo hidrológico



Fonte: (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

### 2.3.1 Escoamento em uma bacia e fatores intervenientes

O escoamento das águas tem grande importância para as vazões dos rios de uma bacia hidrográfica, e sua ocorrência pode ser da seguinte forma:

Parte da água das chuvas é interceptada pela vegetação e outros obstáculos, onde se evapora posteriormente. Do volume que atinge a superfície do solo, parte é retida em depressões do terreno, parte se infiltra e o restante escoam pela superfície, logo que intensidade da precipitação supere a capacidade de infiltração do solo e os espaços nas superfícies retentoras tenham sido preenchidos. (PINTO *et al.*, 1976, p. 36).

O escoamento pode ser subdividido em três tipos: superficial, subsuperficial e subterrâneo. O escoamento superficial ocorre de uma forma bem direta, logo após a precipitação, e tem importância na geração de picos de vazão nos rios. Já o escoamento subterrâneo se apresenta de forma lenta, principalmente durante o período de estiagem, em que a maior parte da água chega ao rio através do fluxo vindo do subsolo (COLLISCHONN e TASSI, 2010).

Conforme Pinto *et al.*, (1976), a disjunção dos escoamentos superficial e subsuperficial é difícil porque o escoamento subsuperficial ocorre nas camadas superiores do solo. Segundo Tucci (1993), este tipo de escoamento pode ser desconsiderado em relação aos demais porque apresenta pouco destaque quantitativo, e seu valor pode ser acrescido aos escoamentos superficial e subterrâneo.

Alencar (2006) ressalta que o conhecimento do escoamento superficial é importante para o dimensionamento de obras hidráulicas bem como para conservação da água e do solo. Destaca também que o impacto no volume de água escoado em uma bacia hidrográfica depende de suas características fisiográficas e climáticas, principalmente da precipitação.

A vazão de um curso hídrico resulta de uma interação entre o regime de precipitação de sua bacia hidrográfica e demais características como infiltração, armazenamento e evapotranspiração. Durante chuvas de maior intensidade, grande parte da vazão presente em um rio é oriunda da água da chuva que não infiltra, mas escoam superficialmente (COLLISCHONN e TASSI, 2010).

### **2.3.2 Balanço hídrico e coeficiente de escoamento de longo prazo**

De acordo Collischonn e Dornelles (2015), o balanço hídrico em uma bacia hidrográfica é definido por entradas e saídas de água, em que a principal entrada ocorre por meio da precipitação, e as saídas pela evapotranspiração e o escoamento. Segundo Anache (2017), o balanço hídrico é baseado na lei de conservação da massa aplicado para os fluxos de água ocorridos em determinados intervalos de tempo e regime de volumes em diferentes escalas.

Para melhor compreensão do balanço hídrico podemos destacar a seguinte equação que o quantifica para um intervalo de tempo finito:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = P - ET - Q \quad (1)$$

onde:

$\Delta V$	=	Varição do volume de água armazenado na bacia (m <sup>3</sup> );
$\Delta t$	=	intervalo de tempo considerado (s);
$P$	=	precipitação (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> );
$Q$	=	escoamento (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> );
$ET$	=	evapotranspiração (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> );

Ainda conforme Collischonn e Dornelles (2015) para períodos longos, vários anos, a variação de armazenamento pode ser desprezada na maior parte das bacias, e a equação passa a ser escrita em unidades de (mm.ano<sup>-1</sup>) que é dividido os volumes pela área da bacia.

Para compreender melhor o comportamento da água no balanço hídrico de uma bacia, é determinado o coeficiente de escoamento de longo prazo (C). Esse coeficiente representa o percentual de chuva que se converte em escoamento no exutório da bacia, e é dado pela relação entre escoamento médio anual da bacia (mm ano<sup>-1</sup>) e a precipitação média anual sobre a bacia (mm ano<sup>-1</sup>). Os valores variam de 0 a 1, e para a maioria das bacias se enquadram num intervalo de 0,05 a 0,5 (COLLISCHONN e TASSI, 2010).

## 2.4 FATORES INTERVENIENTES NO CICLO HIDROLÓGICO

Com o desenvolvimento da agricultura e da sociedade o ciclo hidrológico tem sofrido consideráveis interferências, principalmente com os avanços tecnológicos. A perda de cobertura arbórea, o uso da terra para agricultura, a urbanização, a utilização das águas subterrâneas e a construção de barragens para abastecimento e geração de energia contribuem diretamente para essas interferências (ROCHA, 2010).

No processo de urbanização uma bacia hidrográfica tem a sua cobertura vegetal impermeabilizada, gerando diversos condutos de escoamento pluvial. Esse processo gera alterações como: redução da infiltração no solo e decréscimo de recarga dos aquíferos; aumento do escoamento superficial e redução da evapotranspiração devido à falta de vegetação (TUCCI, 2002).

Ainda segundo Tucci e Clarke (1997), o desmatamento ocasiona aumento no albedo, gerando menor absorção de radiação de ondas curtas e maior reflexão, maiores variações de temperatura, menor volume de água evaporada e menor variação de umidade em camadas mais profundas do solo. Para Rocha (2010), esse desmatamento em curto prazo ocasiona a redução da transpiração, pois as raízes das árvores são retiradas e provocam aumento do escoamento na superfície do solo, aumentando o fluxo de água diretamente para os rios.

A precipitação é compreendida como a única entrada natural do ciclo hidrológico em sua fase superficial, e se apresenta de várias formas ou estados físicos antes de atingir a superfície da terra. Entre os tipos de precipitação temos a chuva, granizo, neve, orvalho, neblina e geada; sendo que a chuva é a forma de precipitação mais recorrente (PINTO *et al.*, 1976; ANACHE, 2017).

A variabilidade e intensidade da precipitação ao longo do ano possibilita a verificação da demanda de água para a evapotranspiração. Em regiões que as precipitações são concentradas em um período, a evapotranspiração potencial tende a ser menor e as diferenças de desmatamento são mais baixas. Já em locais com precipitações mais distribuídas durante o ano e concentradas no verão, a supressão da vegetação tende a produzir impacto expressivo no escoamento, já que no período de acentuada evapotranspiração potencial, a água está mais disponível para as plantas e o solo (TUCCI, 2002).

Diversos são os fatores que acarretam alterações nos padrões de precipitações, dentre os quais se destacam os fatores naturais: temperatura, dinâmica de massas de ar, maritimidade, insolação, cobertura vegetal, formas de relevo e posição geográfica; e os fatores antrópicos: desmatamento, concentração em núcleos urbanos, emissão de gases que aumentam o efeito estufa e erosão do solo (EWALD, 2010).

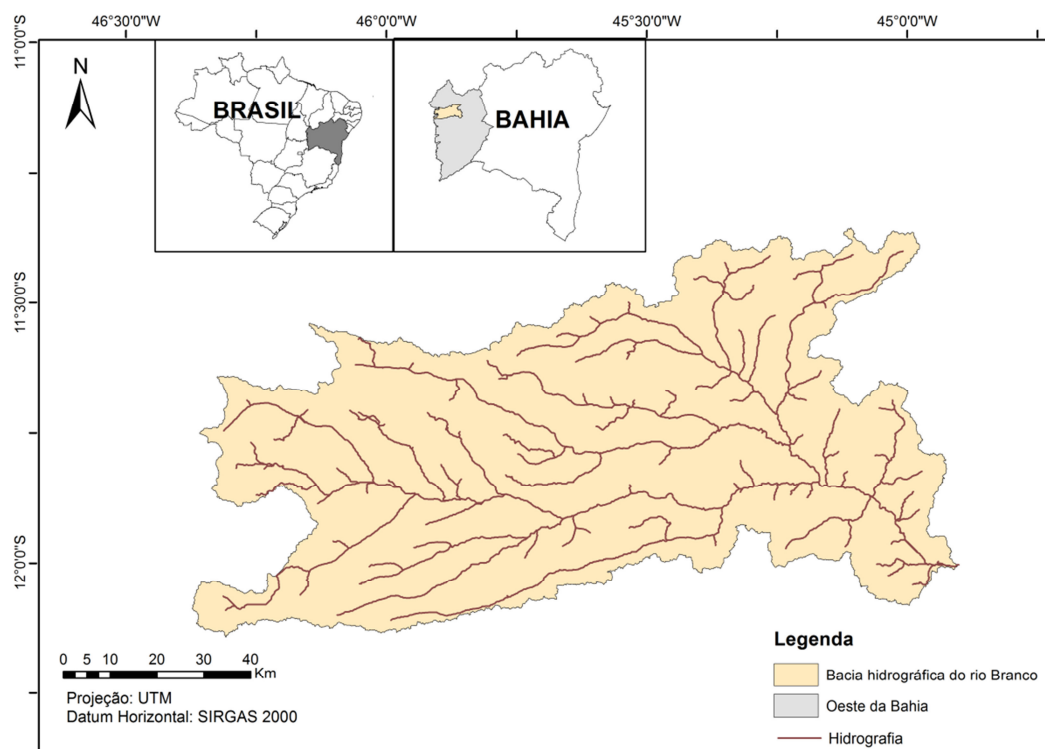
As alterações climáticas possuem uma relação direta com o ciclo hidrológico, e podem gerar muitos impactos na atmosfera. Mudanças na intensidade e na variabilidade espacial das precipitações, geração de enchentes, períodos de estiagem, erosão, impacto na qualidade das águas e redução da vazão dos rios, são fatores resultantes das alterações no clima (ADAM e COLLISCHONN 2013; ANA 2016).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com área de aproximadamente 8.261,73 km<sup>2</sup>, a bacia do rio Branco localiza-se entre as coordenadas 11°15'0''S e 12°30'0''S e 44°53'0''W e 46°23'0''W (Figura 3), abrangendo os municípios de Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, Riachão das Neves e Formosa do Rio Preto. Essa bacia tem como curso d'água principal o rio Branco, que nasce próximo à Serra Geral do Tocantins, que divide os estados da Bahia e Tocantins, e tem como principais afluentes os rios de Janeiro e Bom Jesus e os riachos Nambi e Angical.

Figura 4: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Branco



Fonte: o Autor

#### 3.2 DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO

No processo de delimitação da bacia hidrográfica do rio Branco foi utilizado o método computacional por meio das técnicas de SIG (sistema de informação Geográfica). Para a realização dos procedimentos foi necessário o

uso do software *ArcGIS* 10.4.1, com todas suas ferramentas disponíveis para os processamento de imagens, e análise espacial de processos hidrológicos.

Inicialmente foram obtidas as imagens da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 metros e disponíveis de forma gratuita pelo site do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, TOPODATA (INPE, 2011). Após a aquisição das imagens foi gerado um MDE (modelo digital de elevação), e realizados vários procedimentos para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Branco. A seguir são descritos todos os passos:

- Criação de um mosaico de imagens, visto que a área de interesse se localizava em mais de uma imagem SRTM;
- Recorte de área de interesse, para diminuir a quantidade de dados a serem processados, eliminando dados desnecessários;
- Adição de referências espaciais ao mosaico recortado, pois as imagens SRTM não possuíam esses dados. Definiu-se como Datum e sistema de projeção: o sistema geodésico de referência SIRGAS 2000, a projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e localização na zona 23S (fuso 23, hemisfério sul).
- Correção das discontinuidades existentes entre células afetadas e a sua vizinhança, conhecidas como depressões espúrias;
- Definição das direções de fluxo, dada pela relação de escoamento entre determinada célula e as células vizinhas;
- Determinação da área acumulada, calculada por meio do grid das direções de fluxo. É processada por meio da concentração em cada célula da interferência do fluxo de montante;
- Obtenção da rede de drenagem. Nessa etapa, utilizou-se o método de condicionar a um valor limiar à área de drenagem de cada célula, classificando como célula “rio” todas as células com área acumulada maior que 20.000. A rede de cursos d’água pré-definidos foi comparada com as redes hidrográficas do mapa

índice (GEOBAHIA, 2018), disponibilizados pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), na escala 1:100.000.

- Definição do ponto de exutório da bacia, que é o local de convergência de todo o fluxo hídrico gerado;
- Delimitação da bacia; e
- Conversão de dados tipo Raster (em formato matricial) para vetor (formado por um conjunto de vetores referenciados). Foram convertidos os Rasters da área da bacia delimitada, bem como da rede de drenagem.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO FIOGRÁFICA DA BACIA DO RIO BRANCO

Após a delimitação da bacia foram obtidos parâmetros cruciais para sua análise fisiográfica, tais como: área de drenagem, perímetro, comprimento axial da bacia, comprimento total dos cursos d'água, comprimento do curso principal, coeficiente de compacidade, fator de forma, densidade de drenagem, ordem dos cursos d'água, altimetria, declividade e perfil topográfico.

Para a quantificação das variáveis fisiográficas da bacia, e a confecção dos mapas que representam essas variáveis, foi utilizado o software *ArcGIS* 10.4.1 com suas ferramentas de cálculos geométricos e análises espaciais.

O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) que é a relação do perímetro da bacia com uma circunferência de área igual à da bacia, foi calculado pela equação (VILLELA e MATTOS, 1975):

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

sendo:

$K_c$	=	coeficiente de compacidade (adimensional);
$P$	=	Perímetro da bacia (km);
$A$	=	Área de drenagem da bacia (km <sup>2</sup> );

O Fator de forma ( $K_f$ ) é a relação entre a largura média da bacia e seu comprimento axial, e foi calculado pela equação (VILLELA e MATTOS, 1975):

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$

sendo:

- $K_f$  = fator de forma (adimensional);
- $A$  = área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>);
- $L$  = comprimento axial da bacia (km);

A densidade de drenagem ( $D_d$ ) é resultante da relação entre o comprimento total dos cursos d'água presentes na bacia e a área de drenagem da mesma (SILVEIRA, 2014):

$$D_d = \frac{Lt}{A} \quad (4)$$

sendo:

- $D_d$  = Densidade de drenagem (adimensional);
- $Lt$  = comprimento total dos cursos d'água (km);
- $A$  = Área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>);

A ordem dos cursos d'água foi definida pela classificação baseada no método de Strahler (1957), classificando por ordem de fluxo cada curso d'água presente na rede hidrográfica da bacia.

Foram confeccionados mapas com variações de altitudes e declividades, representados por meio de classes diferenciadas por cores com os níveis de visualização melhor definidos. E por fim foi confeccionado o perfil longitudinal do rio principal da bacia, nesse caso o rio Branco. Esse perfil representa graficamente a variação altimétrica em todo o seu percurso desde a nascente até a foz.

### **3.4 OBTENÇÃO E SELEÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO**

Os dados de precipitação e vazão foram obtidos diretamente pelo sistema HIDROWEB (sistema de informações hidrológicas), disponível pela agência Nacional de águas (ANA, 2018). No processo de escolha das estações consideraram-se as que estavam nos domínios da bacia do rio Branco e em seu entorno, visando buscar o máximo de estações possíveis.

Após a escolha foi feito o carregamento das planilhas com as observações diárias de precipitação e vazão. O critério de seleção foi utilizar as estações que obtivessem o mínimo de falhas possíveis, dados consistidos, e séries históricas que somassem pelo menos 30 anos.

#### **3.4.1 Precipitação**

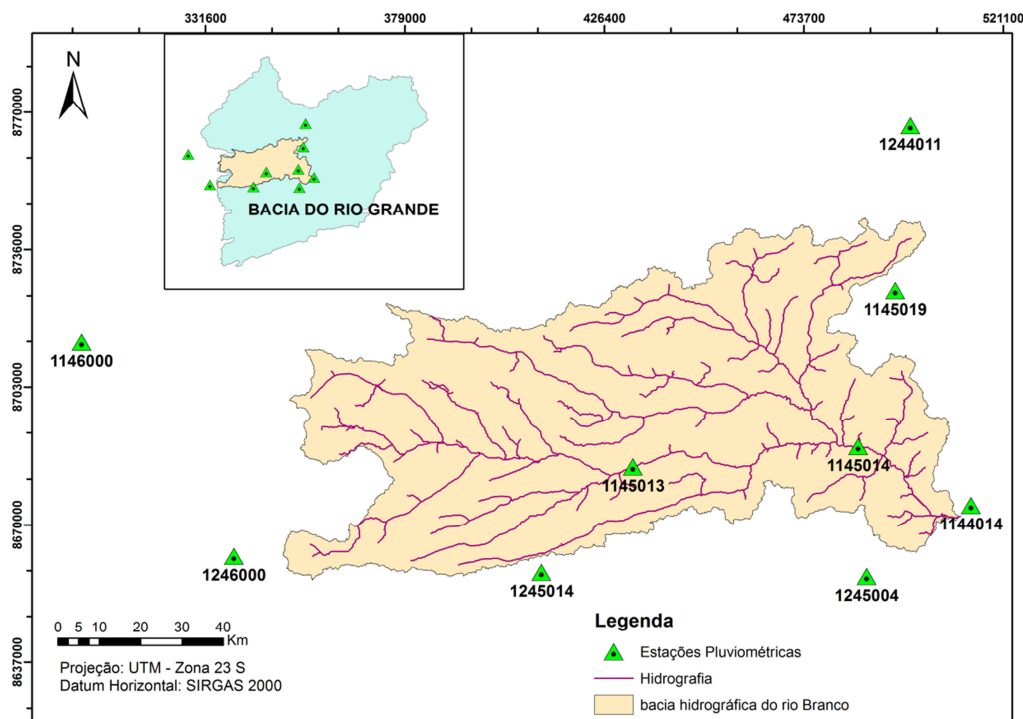
Inicialmente foram pré-selecionadas, por meio do portal HIDROWEB, 25 estações pluviométricas, observando-se o critério de maior proximidade com a bacia em estudo. Após a análise das séries de dados de cada estação, algumas foram desconsideradas por apresentarem séries históricas relativamente curtas. Observa-se ainda que das estações utilizadas apenas duas encontram-se dentro da área de drenagem da bacia, sendo as demais em seus arredores.

O resultado foi a seleção de nove estações pluviométricas para estudo, sendo sete para um período entre 01/01/1977 a 31/12/2006, totalizando 30 anos de dados; e duas para o período de 01/09/1984 a 31/12/2006, totalizando 22 anos e 4 meses de dados.

As duas estações com série históricas mais curtas foram 1245014 (Fazenda Johá) e 1145019 (Cariparé). Elas foram consideradas um caso à parte entre as demais estações, por serem localizadas bem próximas à bacia, possuírem áreas de influência estratégicas, e totais precipitados relevantes para os cálculos de precipitação média na bacia. Sem essas duas estações o cálculo de precipitação média na bacia seria menos representativo, pois seu valor seria determinado por poucas estações com áreas de influência maiores.

Na Figura 5 e no Quadro 1 são apresentadas, respectivamente, as localizações e características das nove estações pluviométricas selecionadas.

Figura 5: Localização das estações pluviométricas selecionadas



Fonte: o Autor

Quadro 1: Características das estações pluviométricas selecionadas

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Responsável</b>	<b>Operador</b>
1144014	São Sebastião	Angical - BA	ANA	CPRM
1145013	Ponte Serafim - Montante	Barreiras - BA	ANA	CPRM
1145014	Nova Vida - Montante	Barreiras - BA	ANA	CPRM
1145019	Cariparé	Riachão das Neves - BA	ANA	CPRM
1146000	Dianópolis	Dianópolis - TO	ANA	CPRM
1244011	Barreiras	Formosa do Rio Preto - BA	ANA	CPRM
1245004	Fazenda Redenção	Barreiras - BA	ANA	CPRM
1245014	Fazenda Johá	Luís Eduardo Magalhães - BA	ANA	CPRM
1246000	Ponte Alta do Bom Jesus	Ponte Alta do Bom Jesus - TO	ANA	CPRM

Fonte: adaptado de HIDROWEB (2018)

Após a seleção das estações pluviométricas, foram realizados preenchimentos de dados faltantes em intervalos restritos das séries de algumas estações. No preenchimento de falhas utilizou-se o método de

regressão linear simples, correlacionando-se os dados da estação com falhas com outra estação próxima que apresentasse o maior coeficiente de determinação para a equação de regressão (ANA, 2012).

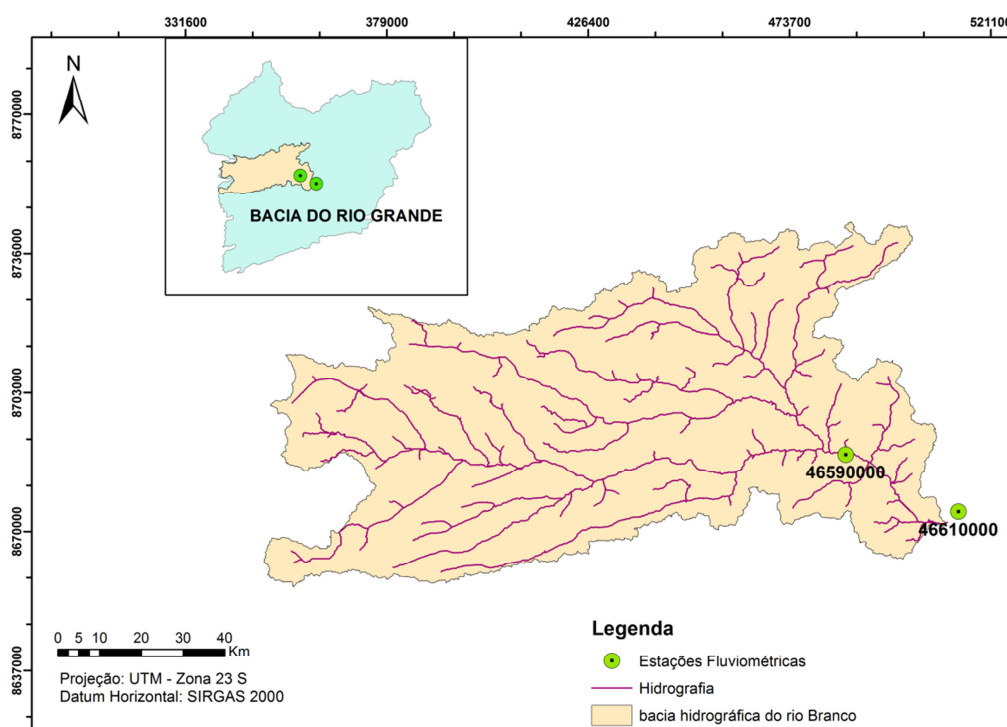
Também houve a necessidade de realizar a análise de consistência de dados brutos para a estação pluviométrica 1246000 (Ponte Alta do Bom Jesus), pois entre os anos de 1994 e 2000 não haviam dados consistidos. Utilizou-se o método da dupla massa (USGS, 1966), que consiste em plotar um gráfico cartesiano com os valores acumulados do posto a validar (nas ordenadas) e de outro posto confiável usado como base (nas abscissas). Observa-se através de uma curva de tendência erros sistemáticos por mudança de declividade ou picos consideráveis, que possam representar erros nos dados brutos da estação (ANA, 2012).

### **3.4.2 Vazão**

A pré-seleção dos dados de vazão no HIDROWEB resultou primariamente em três estações fluviométricas, observando-se o critério de que estivessem localizadas preferencialmente após a confluência dos principais afluentes, e o mais próximo da foz do rio principal.

Devido à ausência de dados de uma das estações pré-selecionadas, o resultado foi a seleção de duas estações fluviométricas para um período de estudo entre 01/01/1977 a 31/12/2006, totalizando 30 anos de dados. Na Figura 6 e no Quadro 2 são apresentadas, respectivamente, as localizações e as características das estações fluviométricas selecionadas.

Figura 6: Localização das estações fluviométricas selecionadas



Fonte: o Autor

Quadro 2: Características das estações fluviométricas selecionadas

Código	Nome	Município	Responsável	Operador
46590000	Nova Vida - Montante	Barreiras - BA	ANA	CPRM
46610000	São Sebastião	Angical - BA	ANA	CPRM

Fonte: adaptado de HIDROWEB (2018).

Após a seleção das estações, foi necessário o preenchimento de algumas falhas em intervalos restritos das séries por meio do método de regressão linear simples (ANA, 2012).

### 3.5 QUANTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO BALANÇO HÍDRICO

As precipitações médias mensais e anuais na bacia foram determinadas pelo método dos Polígonos de Thiessen (1911). Esse método consiste em dar pesos aos totais precipitados, proporcionais à área de influência que cada estação pluviométrica tem na bacia (PINTO *et al.*, 1976).

A escolha do método dos polígonos de Thiessen se deu por sua praticidade, uma vez que, definidas as áreas de influência de cada estação, esses valores são utilizados para o cálculo da precipitação média em todos os

anos da série. Entretanto salienta-se que o seu uso não permite a consideração da possível influência do relevo sobre o regime de precipitações.

As áreas de influência foram obtidas com a assistência do *software* ArcGIS 10.4.1, e as precipitações médias foram calculadas por meio da equação (PINTO *et al.*, 1976):

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{P}_i}{A} \quad (5)$$

Sendo:

$\bar{P}$	=	precipitação média na bacia (mm);
$\bar{P}_i$	=	precipitação média no posto i (mm);
$A_i$	=	Área do polígono i, no interior bacia (km <sup>2</sup> );
$A$	=	Área total da bacia (km <sup>2</sup> );

Depois de obtidas as áreas de influência de cada estação pluviométrica por meio de seu polígono correspondente, foram armazenadas essas áreas para os cálculos de precipitação média mensal, excluindo-se as estações que não possuíam áreas de influência na bacia. Para tanto, foram analisados dois períodos distintos em função da disponibilidade de dados nas estações, com o intuito de fornecer ao estudo maior representatividade em termos da distribuição espacial das chuvas.

O primeiro período estendeu-se de janeiro de 1977 a agosto de 1984, tendo como base todas as estações selecionadas para o estudo, exceto as estações 1245014 (Fazenda Johá) e 1145019 (Cariparé), cujos dados desse período não estavam disponíveis, e a estação 1146000 (Dianópolis), que não apresentou área de influência na bacia.

O segundo período estendeu-se de setembro de 1984 a dezembro de 2006, tendo como base todas as estações selecionadas para o estudo, exceto as estações 1146000 (Dianópolis) e 1244011 (Barreiras), que não apresentaram área de influência na bacia.

Posteriormente, foram realizados cálculos para obter as precipitações médias mensais e totais anuais para os dois períodos de trabalho fixados. A partir da análise do gráfico de precipitação média mensal, foi definido o ano hidrológico de interesse. Em seguida, obtiveram-se as precipitações totais

anuais em cada estação pluviométrica e as médias anuais na bacia estudada para os anos hidrológicos de 1977/1978 a 2005/2006.

Para o conhecimento da vazão média de longo prazo, foi necessário recorrer ao método de regionalização de vazões, devido à estação fluviométrica localizada próximo ao exutório da bacia não conter dados históricos suficientes para as análises. Portanto foram selecionadas as estações 46590000 (Nova Vida - Montante) e 46610000 (São Sebastião) situadas respectivamente a montante, e à jusante do exutório da bacia.

Para a aplicação do método, foi necessário encontrar as áreas de drenagem de cada posto de medição pelos métodos computacionais prefixados. Obtidos os dados de vazões médias mensais de cada estação fluviométrica pode-se determinar a vazão no exutório da bacia do rio Branco pelo método de regionalização de vazões, baseado na interpolação linear (AMORIM *et al.*, 2005):

$$Q_z = Q_m + \left( \frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (6)$$

sendo:

$Q_z$	=	vazão na seção de interesse ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );
$Q_m$	=	vazão no posto montante ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );
$Q_j$	=	vazão no posto jusante ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );
$A_z$	=	área de drenagem na seção de interesse ( $\text{km}^2$ );
$A_m$	=	área de drenagem do posto de montante ( $\text{km}^2$ );
$A_j$	=	área de drenagem do posto jusante ( $\text{km}^2$ );

Após o cálculo da vazão no exutório da bacia, foi possível obter as vazões médias mensais e médias anuais para o ano hidrológico definido. Em seguida determinou-se o escoamento médio anual na bacia, que transforma o valor de vazão de  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  em seu exutório para um escoamento médio em  $\text{mm ano}^{-1}$  em toda a bacia hidrográfica (NOGUEIRA, 2017):

$$Q = 31,536 \frac{q}{A} \quad (7)$$

em que:

$Q$	=	escoamento médio anual na bacia ( $\text{mm ano}^{-1}$ );
$q$	=	vazão média anual ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );
$A$	=	Área total da bacia ( $\text{km}^2$ );

Determinados os totais precipitados e escoados, seguiu-se com o balanço hídrico da bacia calculando-se a evapotranspiração pela Equação do balanço hídrico simplificado (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015):

$$P = ET + Q \quad (8)$$

onde:

$P$	=	precipitação ( $\text{mm ano}^{-1}$ );
$ET$	=	evapotranspiração ( $\text{mm ano}^{-1}$ );
$Q$	=	escoamento ( $\text{mm ano}^{-1}$ );

Para analisar o comportamento da conversão de precipitação em vazão, determinou-se o coeficiente de escoamento de longo prazo (C) para a bacia (COLLISCHONN e TASSI, 2010):

$$C = \frac{Q}{P} \quad (9)$$

em que:

$C$	=	coeficiente de escoamento de longo prazo (adimensional)
$Q$	=	escoamento médio anual ( $\text{mm ano}^{-1}$ );
$P$	=	precipitação ( $\text{mm ano}^{-1}$ );

### 3.6 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA

Para a análise do comportamento hidrológico da bacia foi gerado um gráfico para expressar a variação da precipitação, do escoamento médio anual, da evapotranspiração e do coeficiente de escoamento de longo prazo em função do tempo. Através de linhas de tendência e suas respectivas equações de regressão linear, verificou-se as tendências de redução ou aumento das variáveis hidrológicas no período analisado. Além disso, procurou-se identificar possíveis causas para as tendências observadas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

Os resultados da análise fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Branco são apresentados na Tabela 3. Obteve-se uma área de drenagem de 8.261,73 km<sup>2</sup> para a bacia, o que representa cerca de 10,5% da área da bacia do rio Grande que, conforme Pereira *et al.* (2007), é de aproximadamente 78.491 km<sup>2</sup>. Conforme Moreira e Silva (2010), entre as sub-bacias do rio Grande, a do rio Branco é a segunda maior em área de drenagem.

Tabela 3: Características fisiográficas da bacia do rio Branco

Característica Fisiográfica	Valor
Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	8.261,73
Perímetro (km)	801,56
Coefficiente de compacidade – $K_c$ (adimensional)	2,47
Comprimento axial (km)	156,97
Fator de forma – $K_f$ (adimensional)	0,34
Ordem dos cursos d'água (adimensional)	4
Comprimento total dos cursos d'água (km)	1.485,44
Densidade de drenagem – $D_d$ (km km <sup>-2</sup> )	0,18
Comprimento do curso principal (km)	163,87

Fonte: o Autor

A bacia do rio Branco apresentou perímetro de 801,56 km e coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) de 2,47. Segundo Oliveira *et al.* (2010), bacias que possuem forma mais compacta (valores de  $K_c$  próximos da unidade) tendem a proporcionar o acúmulo do escoamento superficial em um pequeno trecho do rio principal, aumentando a potencialidade de picos de enchente na bacia hidrográfica. Por outro lado, quão mais distante da unidade for o valor de  $K_c$ , menor essa potencialidade. Assim, verifica-se que a bacia do rio Branco apresenta forma mais alongada, o que indica que a bacia tem baixa propensão a enchentes em condições normais de precipitação.

Segundo Villela e Matos (1975), o fator de forma ( $K_f$ ) também indica a suscetibilidade de uma bacia a enchentes. Quanto menor for esse valor, menos compacta será a bacia e menor será essa suscetibilidade. Para a bacia do rio Branco, o fator de forma ( $K_f$ ) obtido foi de 0,34, considerando o comprimento axial de 156,97 km, o que reforça a baixa susceptibilidade da bacia a enchentes.

De forma comparativa, são apresentadas na Tabela 4 bacias hidrográficas com comportamentos próximos ao da bacia do rio Branco. Foram destacadas as bacias dos rios de Ondas (Bahia), Forqueta (Rio Grande do Sul), Ribeirão Salobra (Mato Grosso do Sul) e Ribeirão do Lobo (São Paulo). Com valores ( $K_c$ ) maiores que 1 e ( $K_f$ ) menores que 1, essas bacias também são pouco sujeitas a inundações.

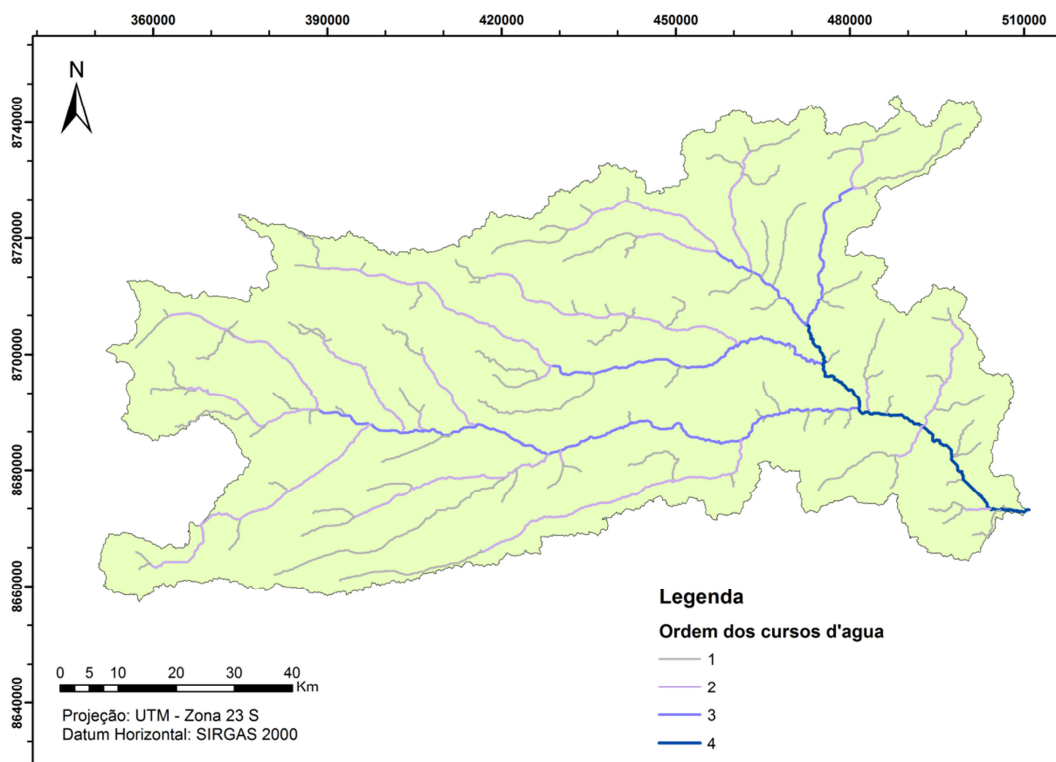
Tabela 4: Valores de características físicas em outras bacias

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	$K_c$	$K_f$	Forma	Autor
Rio de Ondas	5.465,00	1,98	0,25	Alongada	Fistarol <i>et al.</i> (2015)
Rio Forqueta	2.846,04	1,58	0,39	Alongada	Périco <i>et al.</i> (2012)
Ribeirão Salobra	543,91	1,48	0,33	Alongada	Oliveira <i>et al.</i> (2010)
Ribeirão do Lobo	177,25	1,47	0,44	Alongada	Villela e Matos (1975)

Fonte: o Autor

Na Figura 7 é apresentado um mapa ilustrando as ordens dos cursos d'água da bacia do rio Branco. Pode-se observar que a bacia possui cursos d'água de 4<sup>a</sup> ordem segundo a classificação proposta por Strahler (1957).

Figura 7: Mapa de ordem dos cursos d'água



Fonte: o Autor.

Assim, é possível inferir que a bacia apresenta uma rede de drenagem pouco ramificada, com a predominância de canais de ordem inferior. Na Tabela 5 são apresentados os comprimentos totais dos cursos d'água de cada ordem, evidenciando que cerca de 48% dos rios da bacia são de 1ª ordem.

Tabela 5: Comprimentos dos cursos d'água por ordem de classificação

<b>Ordem dos rios</b>	<b>Comprimento linear (km)</b>	<b>Comprimento relativo (%)</b>
1º ordem	709,03	47,7
2º ordem	492,47	33,2
3º ordem	221,49	14,9
4º ordem	62,44	4,2
<b>Valor Total</b>	<b>1.485,43</b>	<b>100,0</b>

Fonte: o Autor.

Ainda em relação aos dados apresentados na Tabela 5, o comprimento total dos cursos d'água da bacia foi de 1.485,43 km, resultando em uma densidade de drenagem de 0,18 km km<sup>-2</sup>. Conforme Villela e Matos (1975), bacias com densidade de drenagem inferiores a 0,5 km km<sup>-2</sup> são consideradas de drenagem pobre, o que indica que a quantidade de canais naturais existentes na bacia do rio Branco é relativamente pequena.

A ocorrência de rios de, no máximo, 4ª ordem, e a baixa densidade de drenagem apresentada pela bacia do rio Branco reforçam a ideia de que a bacia é pouco suscetível a enchentes, visto que picos de enchente altos estão relacionados à existência de grande quantidade de cursos d'água na bacia, favorecendo que o deflúvio atinja os rios de forma mais rápida (HORTON, 1945; GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

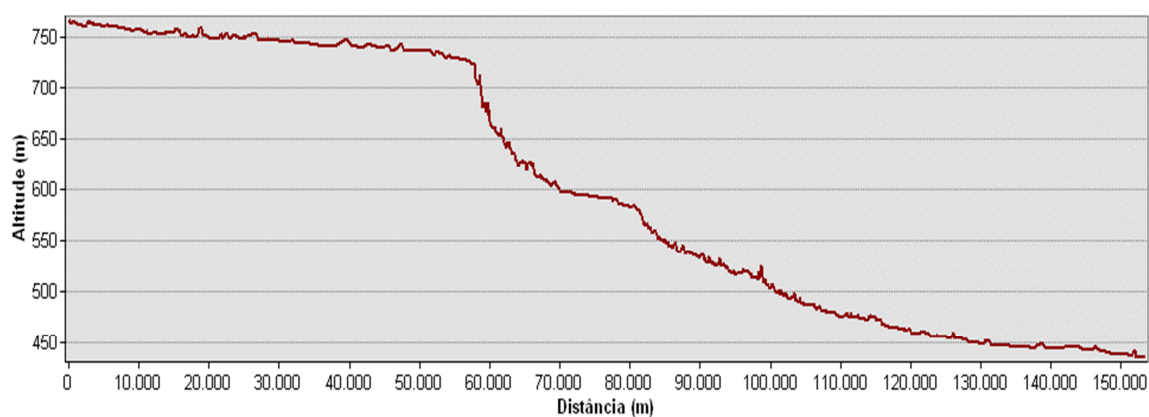
Segundo Tonello (2005), valores de densidade drenagem baixos podem estar associados a locais com rochas permeáveis e que possuem regime pluviométrico com precipitações pouco concentradas ou de baixa intensidade.

A região abrangida pela bacia do rio Branco encontra-se na área de predominância do Sistema Aquífero Urucuia (SAU) que, segundo Barbosa *et al.* (2017), representa um dos mais importantes mananciais de água subterrânea do Brasil. Conforme Gaspar e Campos (2007), a recarga do SAU se dá, basicamente, por infiltração da água das chuvas nas áreas de chapada, onde ocorrem latossolos de textura média e arenosa. As altas taxas de infiltração dos solos dessas áreas favorecem a recarga do aquífero e reduzem o volume

de escoamento superficial gerado, o que explica a baixa densidade de drenagem encontrada para a bacia.

O comprimento obtido para o curso d'água principal da bacia foi de 163,87 km, e o seu perfil longitudinal pode ser observado na Figura 8. Segundo Silva *et al.* (2014), o perfil longitudinal é um elemento de grande importância para entender os fenômenos geomorfológicos e hidrológicos em uma bacia hidrográfica. Observa-se que o rio inicia em sua nascente com altitude de aproximadamente 766 m, e chega a sua foz com 436 m, representando um desnível total de 330 m.

Figura 8: Perfil longitudinal do rio Branco

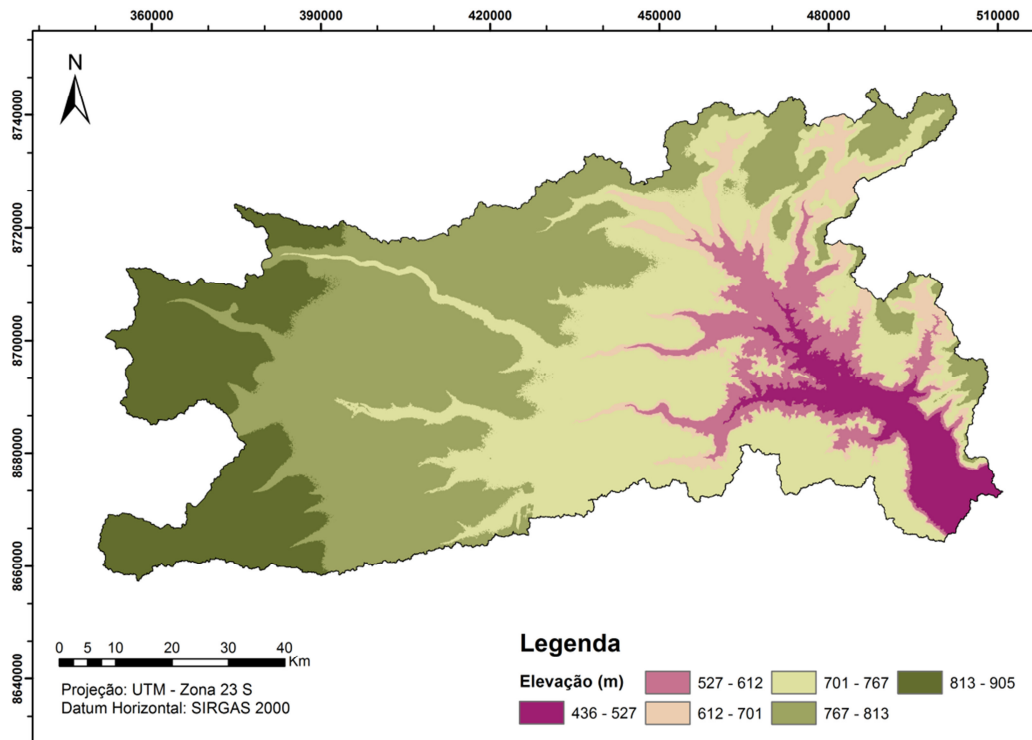


Fonte: o Autor

Ainda sobre o perfil longitudinal do rio Branco, observa-se que no trecho de 0 a 60 km é perceptível que o curso do rio tem declividade menos acentuada, o que influencia em uma velocidade de escoamento mais lenta. No entanto a partir dos 60 km de curso, o rio Branco começa a apresentar maiores declividades proporcionando assim maiores velocidades ao escoamento das águas para sua foz.

O relevo da bacia do rio Branco é representado na Figura 9, em que se observa uma variação de altitude de 469 m, atingindo 905 m na porção mais elevada e 436 m em sua foz. Suas maiores altitudes estão localizadas a oeste e as menores a leste. Além disso, verifica-se que a classe de elevações com intervalo entre 767 m a 813 m é a classe de altitudes que possui o menor desnível topográfico e a maior quantidade de área, podendo ser considerada a porção da bacia com relevo mais uniforme.

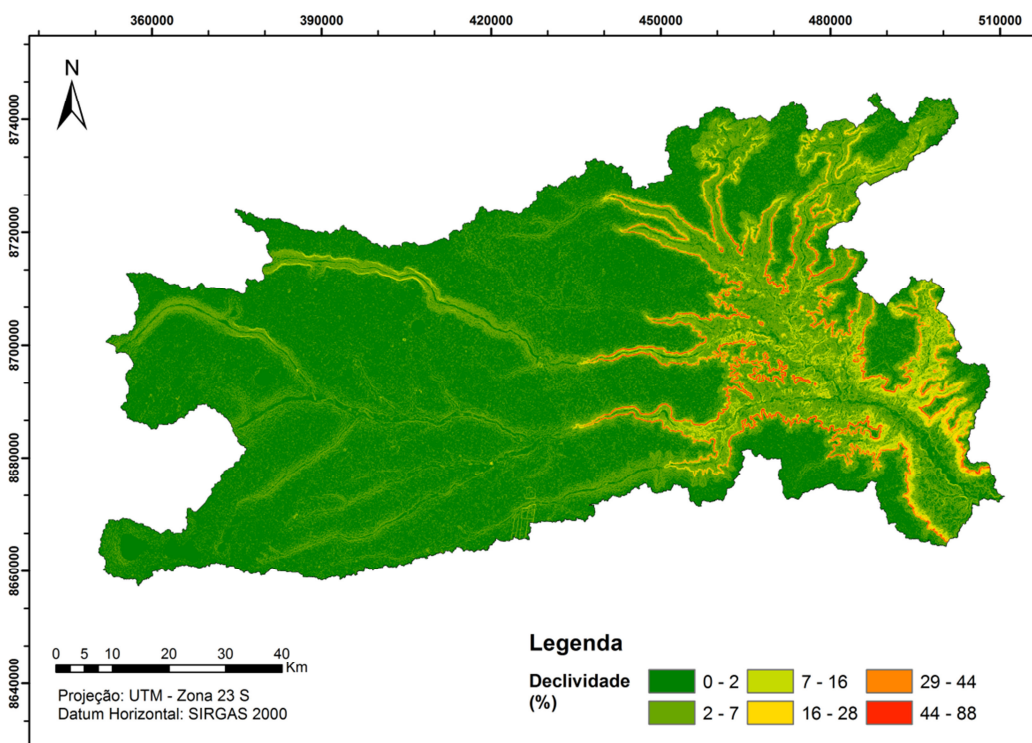
Figura 9: Mapa altimétrico da bacia do rio Branco



Fonte: o Autor

Na Figura 10 é apresentado o mapa de declividades da bacia do rio Branco, e nele observa-se que a bacia possui declividades de 0 a 88%.

Figura 10: Mapa de declividades da bacia do rio Branco



Fonte: o Autor

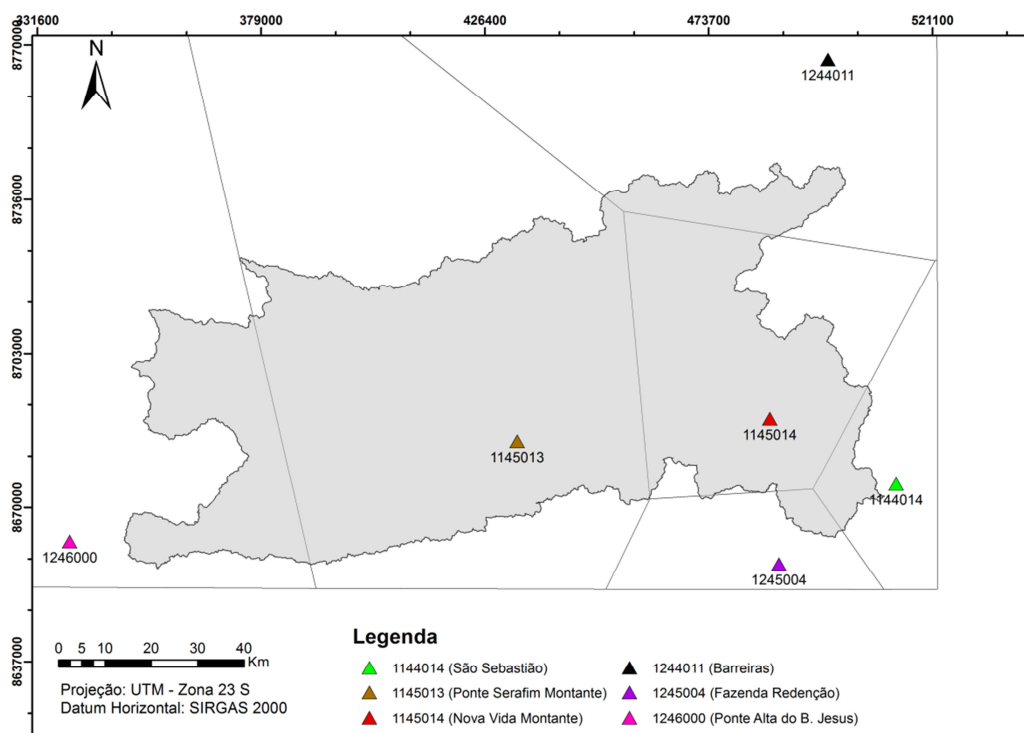
A classe com declividades de 0 a 2%, ou seja, menos acentuadas, é predominante na maior parte da bacia do rio Branco, e estão localizadas mais a oeste. Sendo assim de acordo EMBRAPA (1979), pode-se classificar a bacia hidrográfica como de relevo plano. Essa região de baixas declividades pode proporcionar maiores infiltrações a depender das características do solo, possibilitando assim maiores recargas do aquífero.

Oliveira (2018), analisando a bacia do rio de Janeiro, afluente do rio Branco, verificou que as declividades menos acentuadas também estão a oeste da bacia, o que tornou essa região mais propícia para expansão de áreas agrícolas. Por outro lado, na porção leste da bacia ocorrem as maiores declividades, concentradas nas proximidades das confluências dos principais afluentes do rio Branco, ocorrendo uma suavização do relevo desde a região do vale até sua foz no rio Grande.

## **4.2 PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO**

Na Figura 11 e na Tabela 6 são apresentadas as áreas de influência de cada estação pluviométrica selecionada para o estudo, considerando o primeiro período analisado (janeiro de 1977 a agosto de 1984), no qual foram excluídas as estações 1245014 (Fazenda Johá) e 1145019 (Cariparé) por inexistência de dados. As estações que apresentaram as maiores áreas de influência foram: 1145013 (Ponte Serafim - Montante), 1145014 (Nova Vida - Montante) e 1246000 (Ponte Alta do Bom Jesus) com, respectivamente, 53,8%, 24,5% e 13,6% da área total da bacia.

Figura 11: Mapa das áreas de influência das estações pluviométricas para o período de janeiro de 1977 a agosto de 1984



Fonte: o Autor.

Tabela 6: Áreas de influência das estações pluviométricas para o período de janeiro de 1977 a agosto de 1984

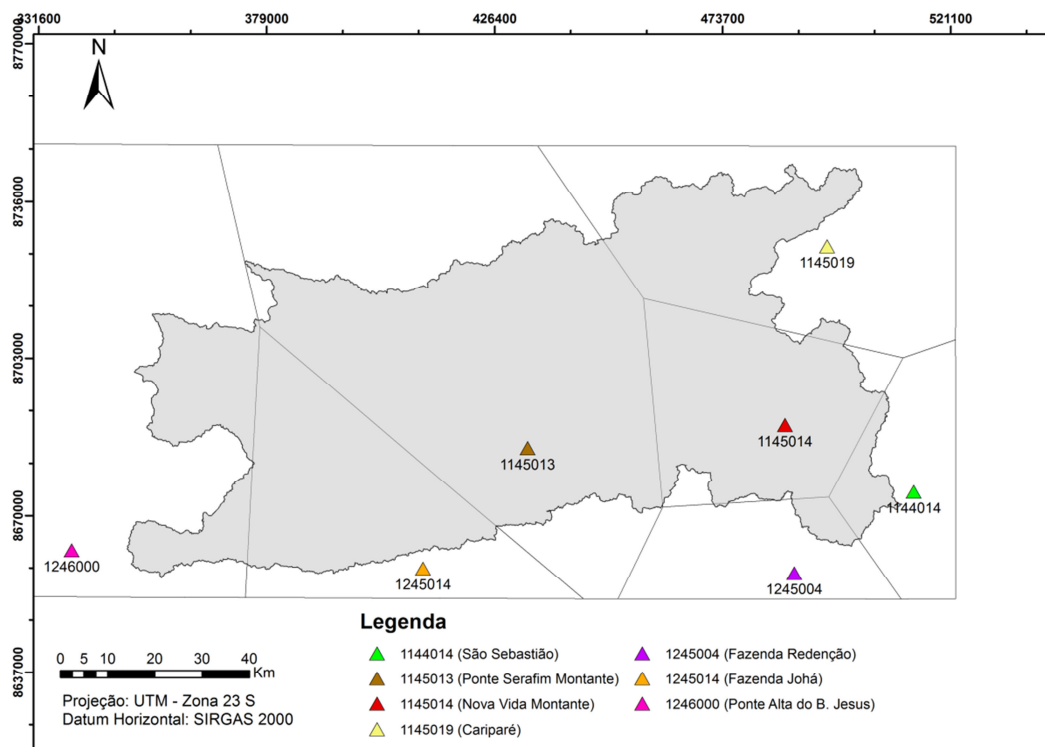
<b>Código</b>	<b>Local</b>	<b>Período</b>	<b>Área de influência (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área relativa (%)</b>
1144014	São Sebastião	1977 - 2006	169,41	2,1
1145013	Ponte Serafim - Montante	1977 - 2006	4445,58	53,8
1145014	Nova Vida - Montante	1977 - 2006	2027,82	24,5
1244011	Barreiras	1977 - 2006	412,47	5,0
1245004	Fazenda Redenção	1977 - 2006	81,53	1,0
1246000	Ponte Alta do Bom Jesus	1977 - 2006	1124,93	13,6

Fonte: o Autor.

Na Figura 12 e na Tabela 7 são apresentadas as áreas de influência das estações pluviométricas consideradas no segundo período analisado (setembro de 1984 a dezembro de 2006). Nessa configuração foram incluídas as estações 1245014 (Fazenda Johá) e 1145019 (Cariparé), e excluída a estação 1244011 (Barreiras) por não apresentar área de influência na bacia do rio Branco. Por outro lado, as estações que apresentaram as maiores áreas de influência foram: 1145013 (Ponte Serafim - Montante), 1145014 (Nova Vida - Montante) e

1245014 (Fazenda Johá) com, respectivamente, 40,0%, 18,1% e 17,2% da área total da bacia.

Figura 12: Mapa das áreas de influência das estações pluviométricas para o período de setembro de 1984 a dezembro de 2006



Fonte: o Autor.

Tabela 7: Áreas de influência das estações pluviométricas para o período de setembro de 1984 a dezembro de 2006

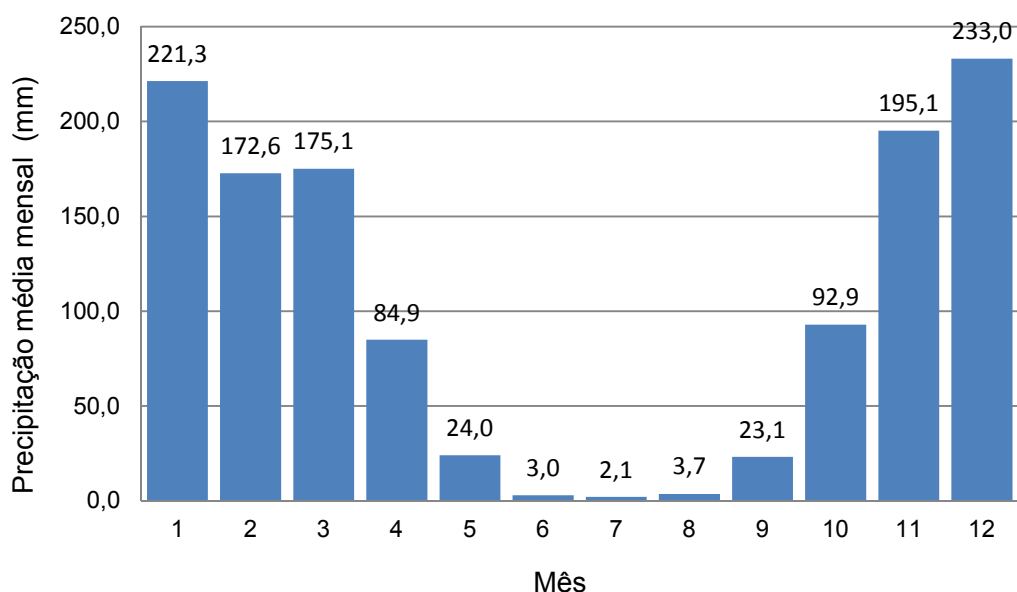
Código	Local	Período	Área de influência (km <sup>2</sup> )	Área relativa (%)
1144014	São Sebastião	1977 - 2006	169,41	2,1
1145013	Ponte Serafim - Montante	1977 - 2006	3303,74	40,0
1145014	Nova Vida - Montante	1977 - 2006	1497,20	18,1
1145019	Cariparé	1984 - 2006	1022,16	12,4
1245004	Fazenda Redenção	1977 - 2006	81,53	1,0
1245014	Fazenda Johá	1984 - 2006	1420,27	17,2
1246000	Ponte Alta do Bom Jesus	1977 - 2006	767,42	9,3

Fonte: o Autor.

Na Figura 13 são exibidas as precipitações médias mensais na bacia do rio Branco, para o período de 1977 a 2006. Analisando o gráfico constatou-se que a estação chuvosa inicia-se com mais frequência a partir do mês de outubro e segue para o ano seguinte até o mês de abril, havendo um período de baixas precipitações em maio, junho, julho, agosto e setembro. Verificou-se, ainda, que o mês mais chuvoso foi dezembro, com uma média de aproximadamente 233 mm, enquanto o mês mais seco foi julho, com uma média de apenas 2,1 mm.

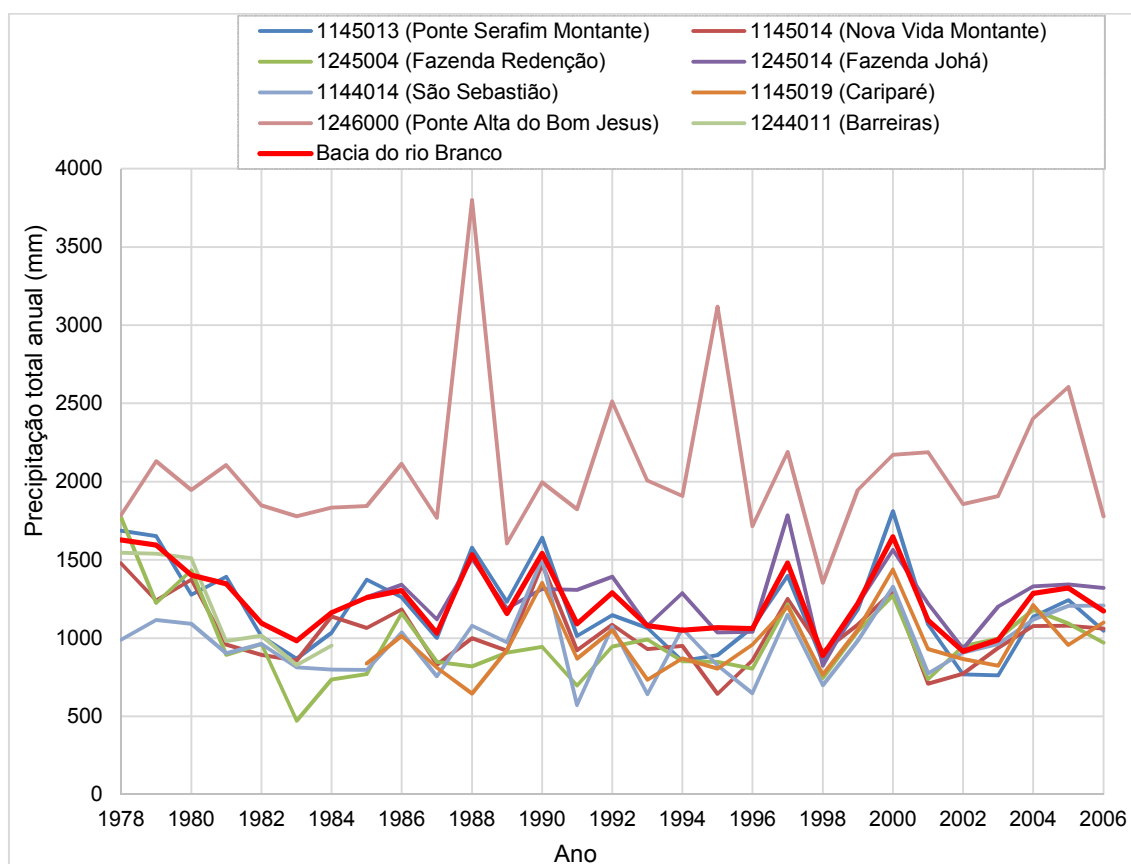
Diante disso foi estabelecido que o ano hidrológico da bacia do rio Branco inicia-se no mês de outubro e se finda no mês de setembro. Sendo assim, todos os resultados apresentados a seguir se referem ao período de outubro de 1977 a setembro de 2006, totalizando 29 anos de dados, com base no referido ano hidrológico.

Figura 13: Precipitação média mensal no período de 1977 a 2006.



Na Figura 14, são apresentadas as precipitações totais anuais para cada posto pluviométrico estudado, bem como a precipitação total anual na bacia hidrográfica do rio Branco. O comportamento da precipitação total anual da bacia segue a mesma tendência do comportamento observado na maioria das estações estudadas, com ressalva para a estação 1246000 (Ponte Alta do Bom Jesus) que apresentou precipitações bem acima dos valores observados para as demais.

Figura 14: Precipitação total anual na bacia do rio Branco e nas estações selecionadas para os anos hidrológicos 1977/1978 à 2005/2006.



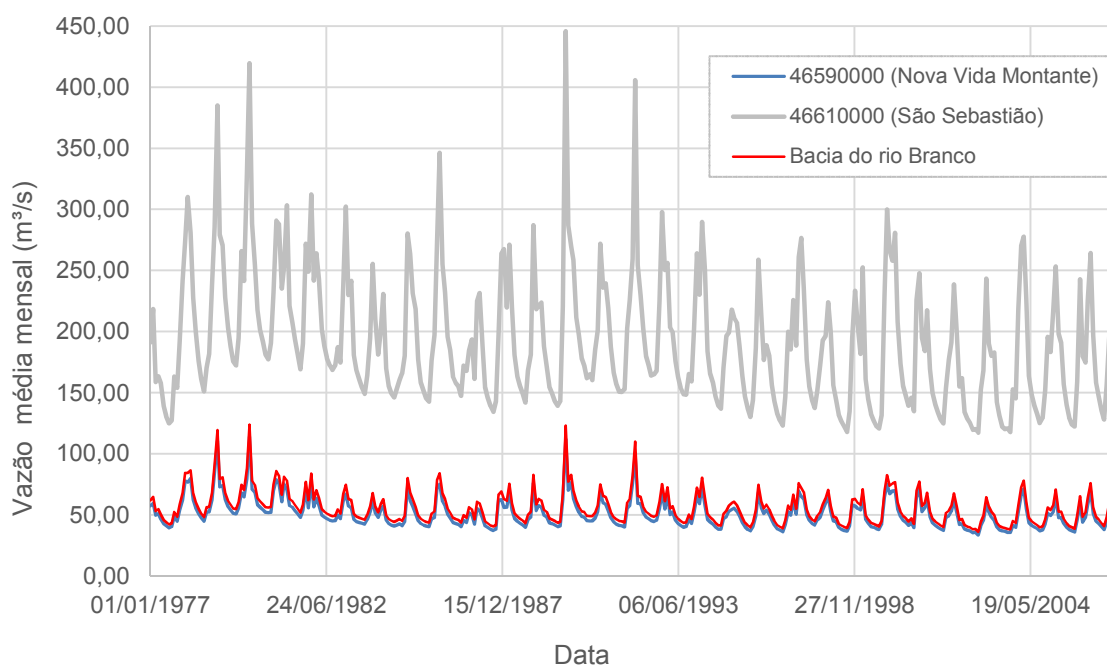
A estação 1246000 (Ponte Alta do Bom Jesus) situa-se nas proximidades da Serra Geral do Tocantins, no sudeste deste estado. Nessa região predominam precipitações anuais da ordem de 2.000 mm, conforme se verifica no mapa de isoietas anuais médias do Brasil, produzido por CPRM (2011) para o período 1977 a 2006. Neste mapa, verificou-se que as altas precipitações observadas na região onde se situa a referida estação, atingem o extremo oeste da bacia do rio Branco; reforçando a importância da consideração desta estação no cálculo das precipitações totais anuais da bacia.

Os postos que apresentaram maiores médias anuais foram 1246000 (Ponte Alta do Bom Jesus), 1245014 (Fazenda Johá) e 1145013 (Ponte Serafim - Montante) com, respectivamente, 2.070, 1.255 e 1184 mm precipitados. A precipitação média anual da bacia do rio Branco obteve o valor de 1231 mm, com um desvio padrão de 218 mm, atingindo o menor valor em 1997/1998 (889 mm) e o maior valor em 1999/2000 (1648 mm).

### 4.3 VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO

As áreas de drenagem obtidas para as estações fluviométricas 46590000 (Nova Vida Montante) e 46610000 (São Sebastião) foram de 7.422,19 km<sup>2</sup> e 33.100 km<sup>2</sup>, respectivamente. Na Figura 15, são apresentadas as vazões médias mensais obtidas nestas estações, além das vazões mensais calculadas por meio de regionalização de vazões para a bacia do rio Branco.

Figura 15: Vazões médias mensais nas estações fluviométricas e na Bacia do rio Branco, no período de 1977 a 2006.



Analisando-se a Figura 15, percebe-se que as vazões observadas nos dois postos fluviométricos apresentam comportamentos parecidos, com períodos de cheia e estações secas bem definidas. As vazões variam sazonalmente, seguindo a tendência de distribuição das precipitações durante o ano, em que a quantidade precipitada é maior de outubro a março e menor de abril a setembro. Como era esperado, as vazões calculadas para a bacia seguiram o mesmo comportamento das vazões observadas nos dois postos pluviométricos.

A vazão média de longo prazo na bacia do rio Branco para o período de 1977/1978 a 2005/2006 foi de  $56,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , atingindo o valor mínimo no ano hidrológico de 2002/2003 ( $46,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e o valor máximo em 1979/1980 ( $72,14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Os anos hidrológicos de ocorrência dos valores mínimo e máximo de vazão média anual não condizem com os anos hidrológicos dos valores mínimo e máximo de precipitação total anual observado. Isso demonstra que o regime de vazões da bacia não é influenciado apenas pelo regime de chuvas, podendo estar sofrendo influência da retirada de água para os múltiplos usos e do armazenamento da água no aquífero.

#### **4.4 BALANÇO HIDRÍCO**

Na Tabela 9 são apresentados para a bacia hidrográfica do rio Branco, os valores médios anuais de precipitação, escoamento, evapotranspiração e coeficiente de escoamento de longo prazo, calculados para o período hidrológico de 1977/1978 a 2005/2006.

O escoamento médio anual e a evapotranspiração média anual alcançaram valores respectivos de 214,8 mm e 1016,3 mm. O coeficiente de escoamento de longo prazo médio obtido foi de aproximadamente 0,18, que em termos práticos significa que apenas 18% do volume total precipitado na bacia é convertido em vazão no seu exutório. Esse valor é muito próximo do obtido por Nogueira (2017) para a bacia do rio de Janeiro, afluente do rio Branco, que foi de 0,17, e dos obtidos por Santos *et al.* (2014) para as estações fluviométricas 46590000 (Nova Vida - Montante) e 46595001 (São Sebastião), que foram, respectivamente de 0,18 e 0,20.

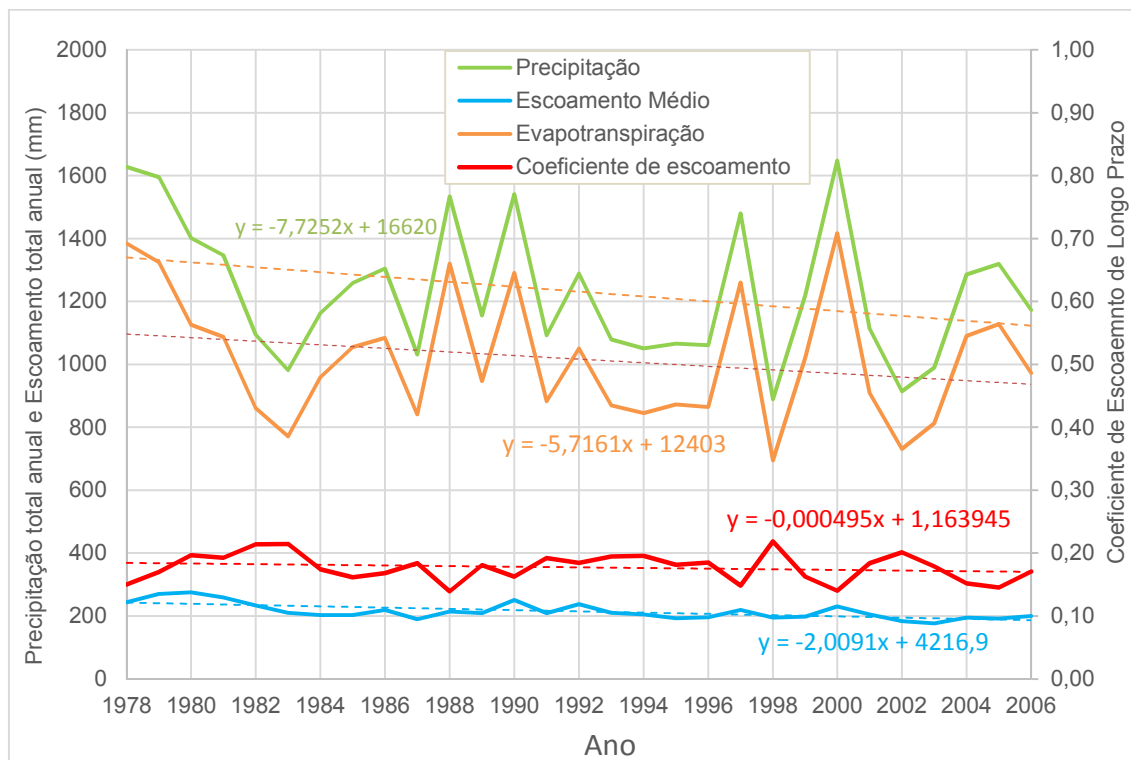
Tabela 8: Valores anuais das variáveis do balanço hídrico e do coeficiente de escoamento de longo prazo na bacia hidrográfica do rio Branco, para o período hidrológico de 1977/1978 a 2005/2006.

<b>Ano</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Escoamento (mm)</b>	<b>Evapotranspiração (mm)</b>	<b>Coeficiente de escoamento</b>
1977/1978	1627,68	243,60	1384,08	0,15
1978/1979	1594,99	270,56	1324,43	0,17
1979/1980	1401,65	275,38	1126,27	0,20
1980/1981	1347,08	259,38	1087,70	0,19
1981/1982	1094,44	233,95	860,48	0,21
1982/1983	981,97	210,65	771,32	0,21
1983/1984	1162,23	202,68	959,55	0,17
1984/1985	1258,08	203,08	1055,00	0,16
1985/1986	1303,68	219,02	1084,67	0,17
1986/1987	1031,13	189,85	841,28	0,18
1987/1988	1533,83	213,88	1319,95	0,14
1988/1989	1155,92	209,22	946,70	0,18
1989/1990	1541,64	250,61	1291,02	0,16
1990/1991	1092,01	209,68	882,33	0,19
1991/1992	1289,07	237,96	1051,11	0,18
1992/1993	1079,61	210,40	869,21	0,19
1993/1994	1050,25	205,34	844,90	0,20
1994/1995	1065,64	193,33	872,31	0,18
1995/1996	1060,48	196,14	864,34	0,18
1996/1997	1480,04	219,66	1260,38	0,15
1997/1998	889,07	194,53	694,53	0,22
1998/1999	1219,53	198,47	1021,06	0,16
1999/2000	1648,22	230,70	1417,51	0,14
2000/2001	1114,31	204,77	909,54	0,18
2001/2002	914,57	183,85	730,73	0,20
2002/2003	989,25	176,75	812,50	0,18
2003/2004	1285,43	195,12	1090,31	0,15
2004/2005	1319,24	191,38	1127,85	0,15
2005/2006	1172,36	200,11	972,25	0,17
<b>Valor médio</b>	<b>1231,15</b>	<b>214,83</b>	<b>1016,32</b>	<b>0,18</b>

Fonte: o Autor.

Na Figura 16 é expresso o comportamento das variáveis do balanço hídrico e do coeficiente de escoamento de longo prazo para o período hidrológico analisado.

Figura 16: Comportamento das variáveis do balanço hídrico e do coeficiente de escoamento de longo prazo da bacia do rio Branco para o período hidrológico de 1977/1978 a 2005/2006.



Por meio das equações de regressão das linhas de tendência obtidas, foi feito o cálculo de redução percentual de cada variável hidrológica, considerando o primeiro e o último ano hidrológico. Pode-se verificar que todas as variáveis apresentaram redução no período analisado.

A precipitação média anual na bacia sofreu um decréscimo de 16,1%, enquanto a evapotranspiração reduziu-se 14,6% no período de estudo. Contudo, a redução mais expressiva foi observada no escoamento médio anual, que diminuiu 23,2%, o que se refletiu em uma redução do coeficiente de escoamento de longo prazo, indicando que a conversão de precipitação em vazão diminuiu em 7,5% no período considerado.

Nogueira (2017) também identificou diminuição expressiva na precipitação total anual na bacia do rio de Janeiro, afluente do rio Branco. Nesta, a redução observada foi de 24,1%, o que indica que a região vem sofrendo com a redução nos volumes precipitados.

Conforme relatado por Almeida e Moreira (2014), o uso e ocupação do solo na região da bacia do rio Branco vem sofrendo grandes modificações devido à expansão da agricultura. Como essas modificações vêm ocorrendo a partir da década de 1980, pode-se associar a redução na precipitação da bacia do rio Branco à supressão da sua vegetação nativa. Contudo, conforme Tucci e Clark (1997), quando o regime de precipitações depende dos movimentos de massas de ar globais, o uso e ocupação do solo tem efeito pouco relevante sobre a precipitação que ocorre na bacia, o que sugere que a redução na precipitação média anual na região da bacia do rio Branco se deve a fenômenos climáticos globais.

Com o decréscimo dos valores de precipitação na bacia, ocorre uma diminuição da quantidade de água que entra no ciclo hidrológico local, sendo esperada também uma redução no escoamento e na evapotranspiração, que constituem as variáveis de saída. Enquanto a evapotranspiração apresentou redução similar à precipitação, o escoamento apresentou reduções mais expressivas, o que indica que outros fatores além da diminuição das chuvas podem estar interferindo no regime de vazões da bacia.

Nesse sentido, a redução expressiva no escoamento médio anual na bacia do rio Branco pode estar relacionada com a ampliação das áreas irrigadas na bacia. Segundo Oliveira (2018), no período de 1984 a 2007, observou-se que o número de pivôs centrais na bacia do rio de Janeiro, afluente do rio Branco, subiu de 2 para 126. O autor ainda indica que esse crescimento se justifica devido à alta demanda de água exigida pela agricultura, e aos baixos índices pluviométricos da região.

Almeida e Moreira (2014), também confirmam a tendência de crescimento na instalação de pivôs de irrigação na região, e destacam que a maior parte das outorgas estão localizadas na cabeceira do rio Branco. De acordo com Janoni *et al.*, (2016), a quantidade de água utilizada na irrigação causa impactos diretos nos volumes de água do rio. A maior retirada de água ocorre nos meses de baixa precipitação, que por sua vez possui evapotranspiração mais acentuada.

Em relação ao coeficiente de escoamento de longo prazo, Nogueira (2017), afirma que para a bacia do rio de Janeiro (sub-bacia do rio Branco) esse coeficiente apresentou um acréscimo de 12,4% no período de 1977/1978 a

2005/2006. No entanto, para a bacia do rio Branco, observou-se um decréscimo de 7,5% no coeficiente de escoamento de longo de prazo. Isso sugere que a redução na conversão de precipitação em vazão na bacia do rio Branco, poderia ter sido ainda maior se não houvesse um aumento relativo no coeficiente de escoamento de longo prazo na sub-bacia do rio de Janeiro no mesmo período.

Segundo Anache (2017), em áreas de Cerrado, a substituição da vegetação nativa por cultivos não-florestais ocasiona o aumento do escoamento superficial e a redução da evapotranspiração, o que também foi sugerido por Tucci e Clark (1997). Oliveira (2018) constatou que até o ano de 2007 cerca de 50% da vegetação nativa da bacia do rio de Janeiro havia sido suprimida, indicando mudança expressiva no uso e ocupação do solo da bacia. Essa mudança, portanto, poderia resultar em maiores taxas de conversão de chuva em vazão, o que está de acordo com o comportamento observado por Nogueira (2017) para o coeficiente de escoamento de longo prazo dessa sub-bacia.

Por outro lado, para a bacia do rio Branco, esse comportamento não foi observado. Apesar de ter havido supressão da vegetação nativa em função do aumento das áreas agrícolas, sugerindo uma redução nos volumes evapotranspirados e, por conseguinte, um aumento no escoamento total, houve redução na conversão de chuva em vazão na bacia. Isso pode ser explicado pela utilização de irrigação nos períodos de estiagem, o que favoreceria a evapotranspiração na bacia pelo aumento da disponibilidade de água no solo.

Nesse contexto, é importante destacar a influência do sistema aquífero Urucuia (SAU), que conforme Gaspar e Campos (2007) é o principal manancial subterrâneo e regulador de vazões dos rios da bacia do rio Grande. Sem esse efeito regulador, a redução no escoamento médio anual na bacia do rio Branco poderia ter sido ainda maior. Isso enfatiza a necessidade de estudos criteriosos antes da concessão de novas outorgas de direito de uso da água na bacia.

## 5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, verifica-se que o regime hidrológico da bacia do rio Branco está sofrendo alterações ao longo do tempo. A precipitação e a evapotranspiração vêm apresentando valores próximos de redução. No entanto, o escoamento médio da bacia tem sofrido redução mais significativa.

Acredita-se que a redução na precipitação tem relação com possíveis mudanças no regime climático global. Por outro lado, a redução no escoamento médio da bacia pode estar sendo influenciado tanto pela diminuição dos volumes precipitados na bacia, como por mudanças no uso e ocupação do solo.

É importante destacar que essa interferência do uso e ocupação do solo no balanço hídrico da bacia, pode estar proporcionando uma redução na conversão de precipitação em escoamento na bacia do rio Branco. Possivelmente, essa redução no coeficiente de escoamento de longo prazo tem relação com o aumento das áreas irrigadas na bacia.

Para aprimorar o conhecimento acerca das interferências do uso e ocupação do solo nas vazões da bacia do rio Branco, sugere-se o estudo da quantidade de recarga do aquífero Urucuia e sua influência nas vazões do rio, a correlação das vazões com as quantidades outorgadas às fazendas, e um estudo do uso e ocupação do solo de forma global para a bacia, enfatizando a capacidade de infiltração do solo e a perda de água por evapotranspiração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, K. N.; COLLISCHONN, W. Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**. v18, p.69-79 jul./set. 2013.
- ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA- AIBA. Potencialidades do Oeste. **Revista AIBA Rural**, ed 11, 36p.
- ALENCAR, D. B. S.; SILVA, C.; OLIVEIRA, C. A. DA S. **Influencia da precipitação o escoamento superficial em uma microbacia do Distrito Federal**. Eng. Agríc, v.26, n1. p.103 -112. jan/abr. 2006.
- ALMEIDA, W. A; MOREIRA, M. C., 2014. Análise das outorgas da bacia do rio Grande, Estado da Bahia. In: **XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola- COEBA**. Campo Grande- MS, 2014.
- ALVES, L. A. de A. **Oeste da Bahia (1980-1996) um estudo dos efeitos do processo de expansão das fronteiras agrícolas na região**. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999.
- AMORIM, E.L.C.; NETTO, A. P.O.; MENDIONDO, E.M. Estudo de métodos para regionalização de vazão. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH**. São Paulo – SP, 2005.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília, 2016.
- ANA , AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Portal Hidro Web: Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acessado em set. de 2018.
- ANACHE, J. A. A. **Alterações no ciclo hidrológico e na perda de solo devido aos diferentes usos do solo e variações climáticas em áreas de Cerrado**. p 150. 2017. (Tese) Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos-SP.
- BARBOSA, N. DA S. et al. **Modelo hidrogeológico conceitual do sistema aquífero Urucuia centro- ocidental, Brasil**. v. 31. n 1. p. 1-19, 2016.
- BRITO, L.T. de L.; SILVA, A. de S.; PORTO, E. R. **Disponibilidade da água e a gestão dos recursos hídricos**. Cap 1, p. 15 - 32. 2007.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: *ABRH*, 2015. 342 p.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Apostila. *IPH UFRGS*, 2010. 149p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Atlas pluviométrico do Brasil**: mapa de isoietas de precipitações médias anuais do Brasil. Brasília: CPRM, 2011. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>> Acesso em: 30 jan. 2019.

DI BELLO, R. C. **Análise do comportamento da umidade do solo no modelo chuva-vazão SAMP II- Versão com suavização hiperbólica. Estudo de caso: Região de Barreiras na bacia do rio Grande**. 2005. 225p. Tese (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

EWALD, K. H. Alterações do volume de precipitação no município de Marechal Cândido Rondon no período de 1965 a 2008. In: Encontro Nacional dos Geógrafos, 16, 2010, Porto Alegre - RS. **Anais do XVI Encontro Nacional dos Geógrafos**. Porto Alegre – RS, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FARIAS, J. R.B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: EMBRAPA. Setembro, 2007.

FISTAROL, P.H.B.; BRANDOLFF, R. S.; SANTOS, J. Y. G. Análise Fisiográfica da Bacia do rio de Ondas – BA. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. João Pessoa – PB, 2015.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 216-226, 2007.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 291p.

HORTON, R.E. “*Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology*”. **Bulletin of Geological Society of America**, v.3, n.56, 1945.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 03 Jan. 2019.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Divisões Regionais do Brasil. **Base de dados**. Shapefiles, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acessado em nov de 2018.

JANONI. A. S.R; MORENO. L. P.; SANTOS. V. Q.; ALVES. R.R. Análise de outorgas na bacia do rio Branco oeste da Bahia. In: **Anais do 48º Congresso Brasileiro de Geologia**. Porto Alegre- RS, 2016.

LUIZ. S.; SANTOS. A. R. S.; BRENNER. T. L. Geração de modelo digital de elevação a partir de imagens Reference Stereo do satélite IKONOS. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. p.581-587. Florianópolis, 2007.

MAPS - GOOGLE EARTH; **3D interactive globe**. V. 7.3.2, for Windows. Brasil, 2019.

MENDES, L. A.. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. 2007. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

MENDONÇA, J. O. **O potencial de crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia**. Revista Bahia Agrícola, V.7, n.2, 2006.

MOREIRA, C. M; SILVA, D. D. **Atlas Hidrográfico da Bacia Hidrográfica do rio Grande**. Barreiras, 2010. p 07-15,33.

NOGUEIRA, R. N. **Balanço Hídrico na Bacia Hidrográfica do Rio de Janeiro - BA**. p 45, 2017 (Monografia). Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias - Curso de Graduação em Engenharia Civil - UFOB.

NOGUEIRA, R. N.; AMARAL, L. G. H.; DIAS, E. S.; SILVA, J. A. O. Análise fisiográfica da bacia do Rio de Janeiro, Ba. In: **XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. p. 1-10. 2018.

OLIVEIRA, G. S. de. ; SILVA, N. F.; HENRIQUES, R. **Mudanças climáticas: ensino fundamental e médio**. Brasília: MEC, SEB ; MCT ; AEB, .Coleção Explorando o ensino ,v. 13 2009. 350 p.

OLIVEIRA de, P.T.S.; SOBRINHO, T.A.; STEFFEN, J.L.; RODRIGUES, D.B.B. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n. 8, p.819-825, 2010.

OLIVEIRA, W. L. V. **Análise multitemporal do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio de Janeiro- BA**. p 50, 2018 (Monografia). Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias - Curso de Graduação em Engenharia Civil – UFOB.

PEREIRA, S.B. et al. Distribuição espacial das variáveis hidrológicas na bacia do rio São Francisco. **Revista Engenharia da Agricultura**. v. 11, n 1-4, Jan/Dez, 2003.

PEREIRA, S. B. et al. Estudo do comportamento hidrológico do rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 615-622, 2007.

PÉRICO, E.; CEMIN, G.; MOHR, L. R. S. Fisiografia da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS, sul do Brasil. **Revista Scientia Plena**. V.8,n 9, p 1-9 set. 2012.

PINTO, N.L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

**PESQUISA AGRÍCOLA MUNICIPAL - PAM**: 2016. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 22 dez. 2018.

REIS, SIMONY L.S. **Desenvolvimento e natureza: A dinâmica de ocupação do cerrado e repercussões ambientais na região agroexportadora do oeste baiano**. p 138. 2014. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

ROCHA, P. C. Indicadores de alteração hidrológica no alto do rio Paraná: Intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. **Revista Sociedade & Natureza**. Uberlândia, v 22, p.191-211, abr. 2010.

SANTOS, F. R.; ALMEIRA, W. A.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da. Análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande, Estado da Bahia, Brasil. In: **XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2014, Natal – RN.

SANTOS, R. C. E. A apropriação do cerrado baiano pelos agronegócios: novos usos do território e as mudanças socioeconômicas e socioespaciais. **Revista Geografia, Ensino & Pesquisa**. v 20, p. 08-17. 2016.

SILVA, N. R.; GOMES, D. D. M.; GOLDFARB, M. C.; Determinação e análise do perfil longitudinal do Ipojuca (PE). In: **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia**. Gramado- RS, 2014.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: *ABRH/ Editora da UFRGS*, 2014, p.35-51.

SISTEMA ESTADUAL DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS E RECURSOS HÍDRICOS - SEIA (2018). **Mapas interativos: Geobahia**. Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/mapas/interativos>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

STRAHLER, A.N. "*Quantitative analysis of watershed geomorphology*". Transactions: **American Geophysical Union**. New Haven - AK - EUA, pp. 913-920, 1957.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA-SEI. **Cidades do agronegócio no oeste baiano**. n 13. Salvador. Out. 2017.

THIESSEN, A. H. Precipitation averages for large areas. **Monthly Weather Review**, v. 39, n.7, p. 1082-1084, jul. 1911.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. p 85. Trabalho de conclusão de Curso (Pós-graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2005.

TOPODATA – **Banco de dados geomorfológicos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php/>> Acesso em: 09 nov. 2018.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. 2002. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas: Câmara Temática sobre Recursos Hídricos. Agência Nacional das Águas - ANA. 150 p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001.156 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1993. 123 p.

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

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Water for people, water for life: UN world water development report (WWDR)**. Paris: UNESCO Publishing, 2003.

USGS - United States Geological Survey. **Double-Mass Curves. Manual of Hydrology: Part I. General Surface-Water Techniques**, by James K. Searcy and Clayton H. Hardison, United States Department of the Interior, 1966.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw - Hill do Brasil, 1975. 239 p.