



**ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE**

DIAGNÓSTICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS ATRAVÉS DO BALANÇO  
HÍDRICO:  
UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO ÁGUA FRIA, BARRA DO CHOÇA-BA

Por

GEISA FERNANDES GALVÃO LOUREIRO

NAZARÉ PAULISTA - SP, 2017



**ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE**

DIAGNÓSTICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS ATRAVÉS DO BALANÇO  
HÍDRICO:  
UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO ÁGUA FRIA, BARRA DO CHOÇA-BA

Por

GEISA FERNANDES GALVÃO LOUREIRO

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

CLINTON NEIL JENKINS  
MARIA JOSÉ BRITO ZAKIA  
OSCAR SARCINELLI

TRABALHO FINAL APRESENTADO AO PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COMO REQUISITO PARCIAL À  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

IPÊ – INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS

## **Ficha Catalográfica**

Loureiro, Geisa Fernandes Galvão

Diagnóstico de bacias hidrográficas através do balanço hídrico: Um estudo de caso na Bacia do Rio Água Fria, Barra do Choça-BA, 2017. 62pg.

Trabalho Final (mestrado): IPÊ – Instituto de Pesquisas ecológicas

1. Ciclo hidrológico
  2. Balanço Hídrico Climatológico de *Thorntwaite-Mather*
  3. Rio dos Monos
- I. Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, IPÊ

**BANCA EXAMINADORA**

NAZARÉ PAULISTA, 5 de setembro de 2017

---

Prof. Dr. Clinton Neil Jenkins – IPÊ

---

Profa. Dra. Maria José Brito Zakia – IPEF

---

Prof. Dr. Oscar Sarcinelli – IPÊ

Dedico essa obra à minha família, como uma demonstração de que sempre é tempo de aprender e que é possível conciliar as coisas importantes na vida da gente (marido, filhos, estudo, trabalho) para crescer.

## AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio dado quando precisei me deslocar de Vitória da Conquista para Serra Grande para assistir aulas, tendo que deixar meus filhos;

Aos meus pais que me mostraram que somente através do estudo poderia ter um futuro melhor do que a realidade na qual cresci;

Ao IPÊ pela oportunidade de participar do Curso de Mestrado em Biodiversidade e Desenvolvimento;

Aos meus professores e orientadores Clinton Neil Jenkins, Maria José Brito Zakia e Oscar Sarcinelli, que foram muito generosos ao me aceitar como sua orientanda e, mesmo à distância, conseguiram me instruir, estabelecendo um vínculo importante para superar as dificuldades ao desenvolver esse trabalho e poder finalizá-lo;

À coordenadora do curso, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristiana Saddy Martins e ao reitor, Prof. Dr. Claudio B. Valladares-Padua;

A todos os professores do curso que ainda não foram citados, por terem contribuído na minha formação intelectual;

Ao pessoal de apoio do ESCAS, principalmente “Seu Paraíso”, que tornou agradáveis os nossos encontros em Serra Grande;

À Empresa Baiana de Águas e Saneamento – EMBASA, concessionária de abastecimento de água de Vitória da Conquista – BA, local onde realizei meu projeto de pesquisa;

Ao colega de trabalho Álvaro Newman Vasconcelos de Aguiar, gerente operacional da EMBASA, que forneceu dados importantes para o desenvolvimento desse trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	2
LISTA DE FIGURAS .....	3
LISTA DE ABREVIACÕES.....	5
RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	1
1 INTRODUÇÃO.....	2
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 - Geral .....	3
1.1.2 - Específicos.....	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Bacias Hidrográficas .....	4
2.2 Aspectos Legais.....	6
2.3 O ciclo hidrológico.....	13
2.4 Balanço Hídrico.....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
3.1 Caracterização das bacias hidrográficas .....	20
3.2 Caracterização hidrológica local .....	22
3.3 Demanda de água.....	22
3.4 Precipitações e o balanço hídrico de Thornthwaite - Mather .....	23
3.5 Vazão.....	23
4. RESULTADOS.....	25
4.1 Bacias hidrográficas que compõem a área de contribuição das barragens do Rio Água Fria. ....	25
4.2 Caracterização das barragens .....	28
4.3 Características hidrológicas da região .....	30
4.4 Demanda de Água captada na Barragem de água Fria II.....	31
4.5 Volume de água disponível .....	34
5 CONCLUSÕES.....	41
6 RECOMENDAÇÕES .....	42
REFERÊNCIAS .....	45

## LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>página</u>
Tabela 1- Resumo do balanço hídrico para facilitar a análise de resultados .....	19
Tabela 2- Características das Bacias dos Rios Água Fria e Monos. ....	26
Tabela 3- Características das Sub-bacias dos Rios Água Fria e Monos.....	27
Tabela 4- Características das das barragens alimentadas pelos Rios Água Fria e Monos.....	28

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>página</u>
Figura 1- Localização das bacias que abastecem o Rio Água Fria. A Água é captada no município de Barra do Choça, tratada em Vitória da Conquista e distribuída para o Sistema Integrado de Abastecimento (SIAA) de Vitória da Conquista, que inclui o município de Belo Campo. .... 2	2
Figura 2 - Série temporal de algumas leis que regem o gerenciamento dos Recursos Hídricos no Estado da Bahia ..... 7	7
Figura 3 - Situação das bacias da região em relação a divisão hidrográfica nacional. O Rio dos Monos deságua no Rio Água Fria, que deságua no Rio Catolé, que é afluente do Rio Pardo, que tem o mesmo nome do RPGA e faz parte da UGRHI do Atlântico Leste. .... 10	10
Figura 4 - Ciclo hidrológico da Água ..... 13	13
Figura 5 - Balanço hídrico considerando a bacia como um recipiente cheio de solo capaz de armazenar 100mm de água. A entrada de água é dada pela precipitação (P), orvalho (O), escoamento superficial (Ri), escoamento subsuperficial (DLi) e ascensão capilar (AC). As saídas de água se processam pela evapotranspiração (ET), o escoamento superficial (Ro), o escoamento subsuperficial (DLo) e a drenagem profunda (DP). Ao subtrair as saídas das entradas é obtida a variação de armazenamento de água no solo ( $\Delta ARM$ ) ..... 17	17
Figura 6 - Delimitação das áreas das bacias dos rios Água Fria e Monos, sobre as curvas de nível. O exutório aponta o sentido para onde corre o fluxo dos rios e onde se encontram, coincidindo com a barragem Água Fria II ..... 25	25
Figura 7 - Sub-bacias dos rios Água Fria e Monos. A área marrom apresenta a sub-bacia do Rio Água Fria, desenhada a partir do ponto rosa, onde se localiza a estação fluviométrica. A sub-bacia do Rio dos Monos, em verde, foi desenhada a partir da estação fluviométrica representada pelo ponto amarelo. A bacia do Rio Água Fria está contornada em vermelho e o Rio dos Monos em verde. .... 27	27
Figura 8 - Imagem de satélite central apresentando o Rio Água Fria e o Rio dos Monos. A imagem superior amplia a área onde está situada a Barragem Água Fria I, e na inferior está área da Barragem Água Fria II. .... 29	29

Figura 9 - Médias mensais das chuvas em Vitória da Conquista, representadas pelas colunas e demonstrando a sazonalidade típica em cada mês do ano. E a linha demonstra a variação de temperatura durante o ano, através das médias mensais .....	30
Figura 10 - Histograma de frequência de chuvas anuais na região de Vitória da Conquista .....	31
Figura 11 - Barramentos na área das bacias dos rios Água Fria e Monos.....	33
Figura 12 - Aumento populacional em Vitória da Conquista. ....	34
Figura 13 - Gráfico de balanço hídrico climatológico da região de Vitória da Conquista, avaliando o saldo entre as médias de precipitações e evapotranspiração do período entre 1994 e 2016. ....	35
Figura 14 - Gráfico de balanço hídrico climatológico sequencial da região de Vitória da Conquista, avaliando o saldo entre as precipitações e evapotranspiração mensal do período entre 1994 e 2016... ..	36
Figura 15 - Distribuição das chuvas anuais totais em Vitória da Conquista de 1994 até 2016.....	37
Figura 17 - Representação gráfica do balanço hídrico climatológico, plotando-se Precipitação, ETP (evapotranspiração potencial) e ETR (evapotranspiração real).....	38
Figura 18 - Distribuição das médias anuais das vazões dos rios Água Fria e Monos de 2012 a 2016. A área verde no fundo demonstra a soma das vazões médias anuais dos dois rios... ..	39
Figura 19 - Gráfico de permanência comparando as frequências das vazões dos rios Água Fria e Monos e o total das duas vazões.... ..	40

## LISTA DE ABREVIações

A	Área
AGERSA	Agencia Reguladora de Saneamento do Estado da Bahia
ALT	Alteração da Água no Solo
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Proteção Permanente
ARM	Armazenamento de água no solo
CAD	Capacidade máxima de retenção de água no solo
CERB	Companhia de Engenharia Ambiental do Estado da Bahia
CNERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CODEMA	Conselho de Defesa do Meio Ambiente
COMMAM	Conselho Municipal de Meio Ambiente
$D_d$	Densidade de drenagem
DEF	Deficiência hídrica
DLi	Escoamento subsuperficial ou drenagem lateral de entrada
DLo	Escoamento subsuperficial ou drenagem lateral de saída
DP	Drenagem profunda
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
ET	Evapotranspiração
ETP	Evapotranspiração potencial
ETR	Evapotranspiração real
EXC	Excedente hídrico
FERHBA	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
g/L	Grama por litro

I	Fluxos positivos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEMA	Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
$K_c$	Coefficiente de compacidade
$\text{km}^2$	Quilômetro quadrado
$K_f$	Fator de forma
L	Comprimento axial do rio
L/s	Litros por segundo
$L_t$	Comprimento do talvegue do rio
$L_{\text{tot}}$	Comprimento da rede de drenagem
P	Precipitação
Pb	Perímetro
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PRAD	Programa de Recuperação de Áreas Degradadas
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
$\text{m}^3/\text{ano}$	Metro cúbico por ano
mm	Milímetro
$\text{m}^3/\text{dia}$	Metro cúbico por dia
$\text{m}^3/\text{s}$	Metro cúbico por segundo
$\text{m}^3/\text{s}.\text{km}^2$	Metro cúbico por segundo vezes quilômetro quilometro quadrado
O	Fluxos negativos
o	Orvalho
OMM	Organização Meteorológica Mundial
P	Precipitação
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
Q (mm)	Deflúvio anual

Q (m <sup>3</sup> /s)	Vazão
Qd	Deflúvio direto
Qb	Deflúvio de base
Q <sub>90</sub>	Vazão em 90% do tempo
R <sup>2</sup>	Coeficiente de significância de regressão
Ri	Escoamento superficial de entrada ( <i>run in</i> )
Ro	Escoamento superficial de saída ( <i>run off</i> )
RPGA	Região de Planejamento e Gestão
S	Armazenamento de água na bacia
SEIRH	Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos
SEMA	Secretaria Estadual de Recursos Hídricos
SEMMA	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
SIAA	Sistema Integrado de Abastecimento de Água
SIMMA	Sistema Municipal do Meio Ambiente
SINGREH	Sistema Nacional de Recursos Hídricos
SRH	Superintendência de Recursos Hídricos
T	Tempo
UGRHI	Unidades de Gestão de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas
USP	Universidade de São Paulo

## RESUMO

Resumo do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

DIAGNÓSTICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS ATRAVÉS DO BALANÇO  
HÍDRICO:  
UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO ÁGUA FRIA, BARRA DO CHOÇA-BA

Por

GEISA FERNANDES GALVÃO LOUREIRO

Setembro/ 2017

Orientadores: Clinton Neil Jenkins, Maria José Brito Zakia e Oscar Sarcinelli

A cidade de Vitória da Conquista, situada na região Sudoeste da Bahia tem passado por um período crítico de racionamento de água, devido aos baixos níveis da Barragem Água Fria II, de onde a água é captada. Esse trabalho tem o objetivo geral realizar o balanço entre a disponibilidade natural e a demanda de água nas bacias que contribuem para Barragens de Água Fria I e II, como subsídio para o desenvolvimento de trabalhos futuros de ordenamento de dessas bacias hidrográficas e, especificamente, realizar o balanço hídrico entre a demanda e a oferta de água; na região de Vitória da Conquista, avaliar as tendências das precipitações médias anuais e levantar os consumos outorgados nas bacias que contribuem para as mesmas. Para isso foram elaborados mapas morfométricos para caracterização das bacias, gráficos com dados de entradas e saídas de água no sistema, cálculos de vazão e deflúvio. Como resultado, foi verificado que a demanda de água pelas cidades abastecidas é superior ao volume outorgado para captação, e existem vários barramentos sem outorga na área das bacias de contribuição. Nos últimos anos houve uma tendência na redução das precipitações, e além disso, o processo de evaporação tem superado as entradas de água nos sistemas, fazendo com que a produção de água pela bacia seja negativa. A barragem Água Fria II tem capacidade de reserva para atender o abastecimento por 488 dias, conforme a vazão outorgada, mas o volume de demanda é quatro vezes maior, então, esse volume só é suficiente para 123 dias, excluído qualquer outro uso. Observa-se a necessidade de disciplinar o uso das bacias e desenvolver ações de revitalização da Bacia do Rio Água Fria e do Rio dos Monos, como forma de garantir que o reservatório existente mantenha o seu potencial de uso no futuro. O reflorestamento das matas ciliares pode ser considerado como uma alternativa para recuperação da área, devendo ser realizado de forma planejada e responsável, para não aumentar as retiradas de água do meio.

## **ABSTRACT**

Abstract do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

TÍTULO DO TRABALHO, CENTRADO, ESPAÇO SIMPLES, LETRAS  
MAIÚSCULAS, COMO NA PÁGINA INICIAL

By

GEISA FERNANDES GALVÃO LOUREIRO

September/ 2017

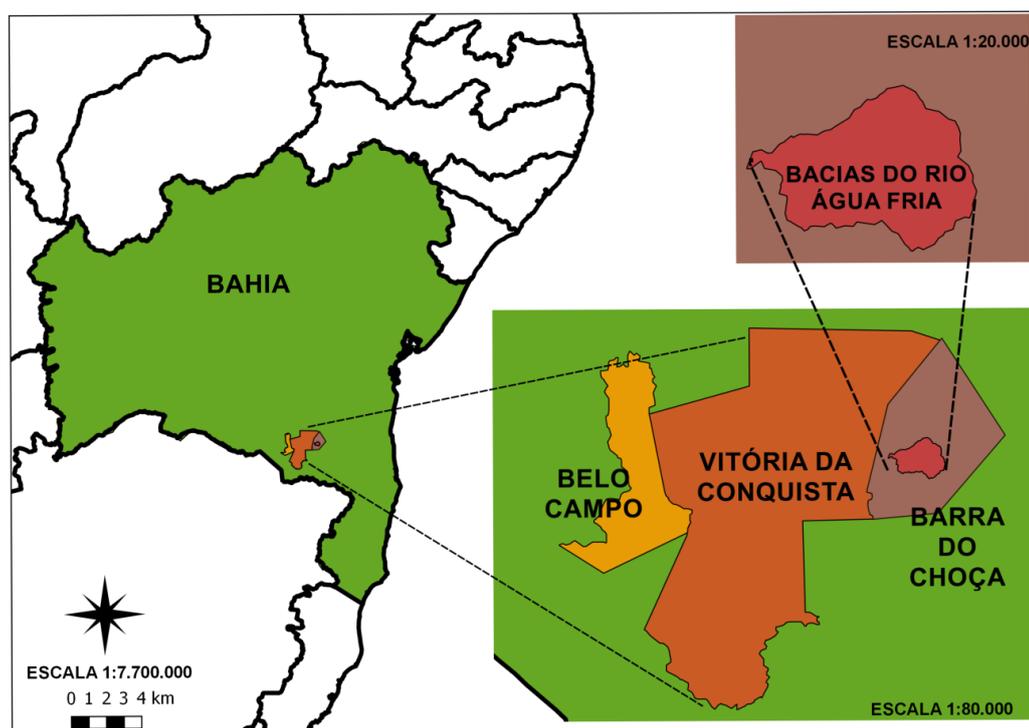
Advisors: Clinton Neil Jenkins, Maria José Brito Zakia e Oscar Sarcinelli

The city of Vitória da Conquista, located in the Southwest region of Bahia, has undergone a critical period of water rationing due to the low levels of the Água Fria II Dam, from where water is captured. This work has the general objective of assessing the natural availability of and demand for water in the basins that contribute to Água Fria Dams I and II, as a subsidy for the development of future works on the planning of water use, hydrographic basins and, specifically, a balance between of the supply and demand for water. In the region of Vitória da Conquista was evaluated the tendencies of the average precipitation and increase in authorized water use in the basins that contribute to the reservoirs. For this, morphometric maps were elaborated to characterize the basins, graphs made of the data on inputs and outputs of water in the system system, flow and surface runoff calculations. It was verified that the demand for water by cities is greater than the volume granted for use. In recent years, there has been a tendency of a reduction of precipitation. In addition, the evaporation process has exceeded the inputs of water into the systems, resulting in a negative production of water per basin. The Água Fria II dam has a reserve capacity to meet the demand for 488 days, according to the authorized water use, but the volume of demand is four times higher than that authorized, so this volume is only sufficient for 123 days, excluding any other use. There is a need to discipline water use and to take actions of revitalization of the Rio Fria River and the Monos River, as a way of guaranteeing the existing reservoir in its potential for future use. Reforestation of riparian forests can be considered as an option for recovery of the area and should be carried out in a planned and responsible manner, so as not to increase water withdrawals from the environment but improve the lifetime of the existing reservoirs by reducing sediment flows into them.

## 1 INTRODUÇÃO

Os seres vivos desenvolvem-se em ambientes que apresentam características adequadas para a sua sobrevivência. A presença de água é um dos elementos essenciais, que funciona como fator limitante para a existência de vida. Historicamente as cidades surgiram e se desenvolveram no entorno de cursos d'água e a sua disponibilidade está associada às condições ambientais locais. Assim, a construção de barramentos nos rios é um dos mecanismos utilizados pelo homem para garantir o abastecimento da população urbana nos períodos de estiagem ou de pouca precipitação.

O foco desse estudo é as Barragens de Água Fria I e II, localizadas no município de Barra do Choça. Elas foram construídas na bacia do Rio Água Fria, para o abastecimento do município de Vitória da Conquista e posteriormente integrou o município de Belo Campo (fig.1). Essa região está localizada no Sudoeste da Bahia e possui características de clima semiárido.



**Figura 1** – Localização das bacias que abastecem o Rio Água Fria. A Água é captada no município de Barra do Choça, tratada em Vitória da Conquista e distribuída para o Sistema Integrado de Abastecimento (SIAA) de Vitória da Conquista, que inclui o município de Belo Campo.

A quantidade e a qualidade da água disponível nessas barragens também dependem do uso e da ocupação do solo no entorno dos reservatórios, compreendendo a bacia hidrográfica do rio de contribuição, além das variações climáticas. Desta forma, foi considerada a bacia do Rio Água Fria e a bacia do Rio dos Monos, que confluem para a bacia de acumulação da Barragem de Água Fria II.

As áreas das duas bacias escoam para a Barragem Água Fria II, onde é captada para abastecimento e para irrigação, mas os níveis desse reservatório têm diminuído, comprometendo os seus diversos usos. Alguns fatores podem estar associados, como os grandes períodos de estiagem que ocorreram na região, captações irregulares de água, dentre outros.

Assim, esse trabalho consiste num estudo de caso para compreender a situação hídrica da região e obter informações que sirvam de subsídios para a gestão das referidas bacias, com vista à conservação de mananciais, para minimizar os problemas com a falta de água. Desse modo, foi necessário caracterizá-las e avaliar os volumes de água disponíveis por esses sistemas hídricos e a demanda para manter o abastecimento da região, realizando cálculos de balanço entre as entradas e saídas nas bacias hidrográficas estudadas.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 - Geral**

Este trabalho tem por objetivo realizar o balanço entre a disponibilidade natural e a demanda de água nas bacias que contribuem para Barragens Água Fria I e II, como subsídio para o desenvolvimento de trabalhos futuros de ordenamento dessas bacias hidrográficas.

### **1.1.2 - Específicos**

- Avaliar a disponibilidade natural de água na região de Vitória da Conquista por meio do Balanço Hídrico de *Thorntwaite-Mather*,
- Avaliar a tendências das precipitações médias anuais,
- Levantar os consumos outorgados nas bacias que contribuem para as Barragens de Água Fria I e II.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Bacias Hidrográficas

As irregularidades do solo formam os rios, riachos e córregos, que fazem a drenagem das águas precipitadas, das regiões mais altas para as mais baixas. Essas áreas são delimitadas e agrupadas pelos divisores de água, representados pelos pontos mais altos do relevo, que conduzem o escoamento para um só sentido, o que constitui as Bacias Hidrográficas (INEMA, 2017).

Bacia hidrográfica é um termo utilizado para designar unidades, nas quais estão distribuídos os recursos hídricos, como forma de facilitar o gerenciamento dos mesmos (SCHIAVETTI e CAMARGO, 2002).

A Política Nacional de Recursos Hídricos diz que, “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997).

Na política Estadual é tratada como “unidade territorial definida para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, devendo ser articulada a política de Territórios de Identidade” (BAHIA, 2009). A lei estadual demonstra a necessidade de um estudo individualizado das bacias, diferente da lei nacional que uniformiza o tratamento dessas regiões.

A caracterização da bacia é necessária para obter dados que facilitem a compreensão da quantidade de água que ela pode produzir, para saber o quanto deve ser reservado nos períodos de estiagem, de modo que as retiradas de água não comprometam seus diversos usos (ANA, 2015). Para isso, é necessário compreender a morfometria da bacia, que é uma das bases de funcionamento do sistema integrado bacia-lagos, além do fluxo, do solo, da cobertura vegetal e do ciclo hidrológico (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

Quando a bacia é usada para fins **consuntivos**, a água retirada é consumida, afetando sua disponibilidade em qualidade ou quantidade, como ocorre em atividades como a irrigação e o abastecimento. Sem um planejamento adequado, possivelmente, com o passar do tempo os volumes de contribuição não conseguem mais atingir seus valores médios (AGEVAP, 2013).

As ações de recuperação hidroambiental de uma bacia, visando a melhoria da quantidade e da qualidade da água são chamadas de Revitalização de Bacias Hidrográficas, mas esse conceito ainda não está descrito nas leis ambientais, pois ainda não foi elaborado, de forma técnico-científica, no Brasil (MACHADO, 2008).

Como os mananciais estão sujeitos às inconstantes climáticas, reservatórios hídricos são construídos para captar a água da chuva e disponibiliza-la nos períodos de estiagens, chamados de Barragens. Essa reserva de água tem a função de atender ao abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, geração de energia, uso industrial, pesca, lazer, transporte hidroviário, paisagismo, preservação ou usos múltiplos. Também tem a função de regular as vazões, em regiões onde há o risco de enchentes em períodos chuvosos (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

As barragens são mantidas pelo **deflúvio** de suas bacias, que é o escoamento superficial da água resultante da relação entre a entrada de água anual, através das chuvas, menos as perdas anuais por evaporação. O deflúvio anual está relacionado com a produção de água de uma bacia hidrográfica.

Por isso a importância da conservação das zonas de recarga e manutenção das áreas de preservação permanente, pois é necessário manter o potencial dos barramentos existentes, evitando danos ambientais com a construção de novos reservatórios.

## 2.2 Aspectos Legais

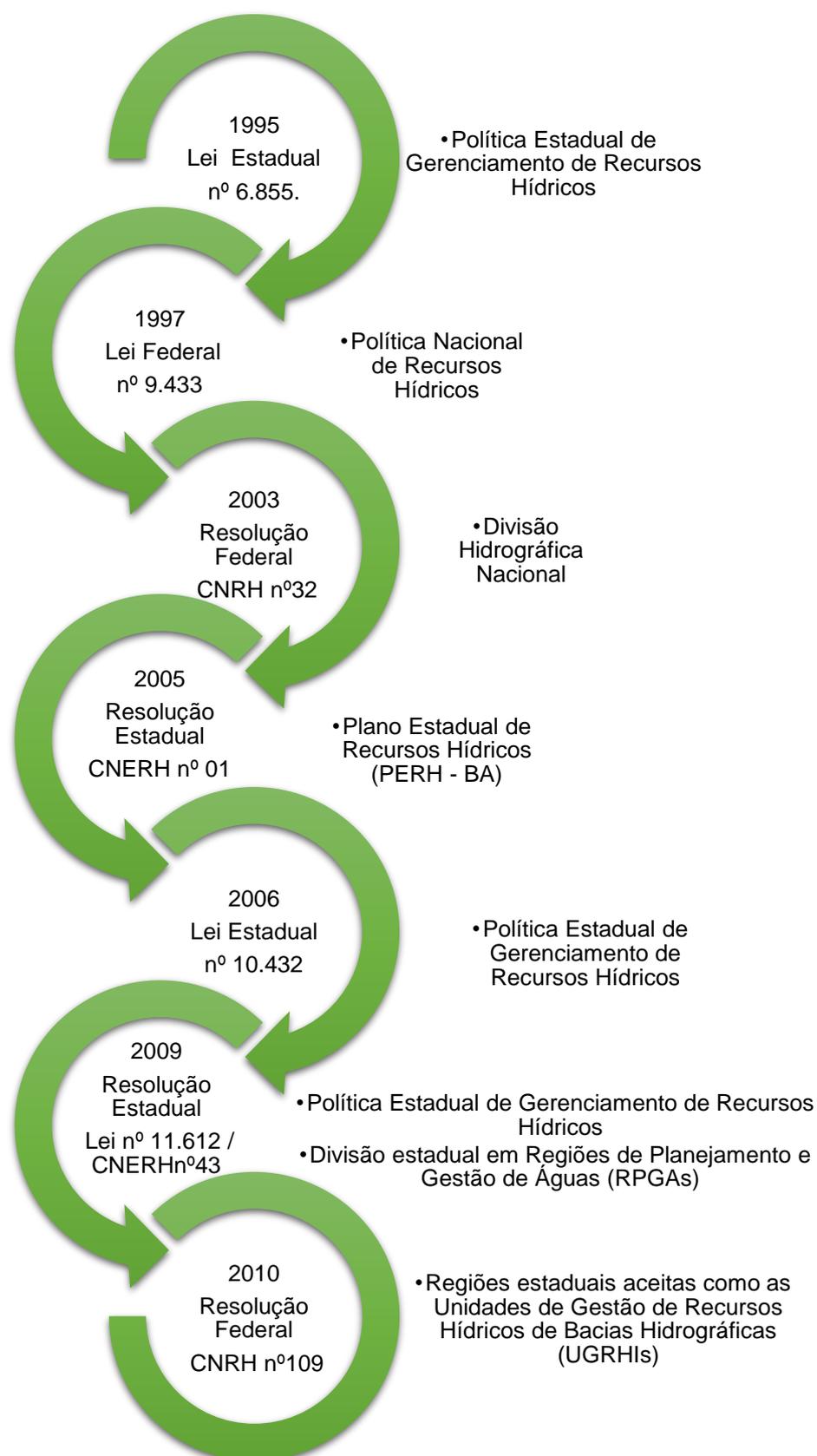
A história da legislação das águas no Brasil não é recente. A princípio essa gestão era ordem federal e foi delimitada desta forma pela Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil 1891. Desde então, várias leis foram criadas no sentido de facilitar a gestão dos recursos hídricos, no cenário nacional, até que a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 trouxe algo diferente, a descentralização dessa gestão entre a União, Estados, Distrito Federal e municípios. Mas um dos grandes marcos foi a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), em 1997, pela Lei nº 9.433 (ANA, 2015).

Desde 1995 existe a Política Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a Lei nº 6.855, dois anos antes que a PNRH fosse promulgada. Ambas apresentam o Plano de Recursos Hídricos, a outorga de direito de uso e a cobrança pelo uso das águas como instrumentos de gestão em comum, que são as ferramentas utilizadas para colocar para organizar, regulamentar e pôr em prática o sistema de gestão de recursos hídricos adotado em cada Estado da Federação.

A gestão dos recursos hídricos na Bahia segue uma sequência histórica legislativa (fig.2), onde leis e resoluções guiam o percurso para a manutenção dos recursos hídricos no Estado.

Quando a PNRH foi instituída, já havia acrescentado em seus instrumentos o enquadramento dos corpos hídricos, a compensação a municípios e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. E foi baseada nos seguintes fundamentos:

- I- a água é um bem de domínio público;
- II- a água é um recurso natural limitado;
- III- em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV- a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V- a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI- a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder público, dos usuários e das comunidades.



**Figura 02** - Série temporal de algumas leis que regem o gerenciamento dos Recursos Hídricos no Estado da Bahia.

Em 2006, a política baiana de gestão de recursos hídricos se torna mais parecida com o texto da política nacional, acrescentando o Plano de Bacias, mas sem especificar a compensação de municípios como instrumento de gestão, através da Lei 10.432, que não revogou a lei anterior. E, de uma forma mais restritiva, acrescentou valores de multas e prazos para os casos de penalidades.

Na Bahia o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH - BA) foi aprovado pela Resolução CNERH nº 01/2005. Esse documento apresenta, entre seus tópicos, a cobrança pelo uso da água, que deve ocorrer pelo fornecimento de água bruta pelos reservatórios operados pela Superintendência de Recursos Hídricos (SRH) e pelo uso da água como um bem público do Estado. Os valores pagos deverão ir para o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FERHBA) e pelo menos 70% da arrecadação deverá ser aplicada em ações dos Planos de Bacias Hidrográficas onde foram gerados (CNERH, 2005).

A Lei nº 11.612/2009, revogou a Lei 10.432, destacando em seus princípios o conceito do usuário-pagador, como aquele que ao utilizar a água para fins econômicos deve pagar por ela através de um instrumento de cobrança. A nova lei ressalta também a responsabilidade e a ética no uso dos recursos hídricos, dentre outros pontos que foram retirados ou acrescentados, demonstrando uma preocupação socioambiental e racional do uso da água. Também, acrescentou o monitoramento das águas, a fiscalização de uso de recursos hídricos, o Fundo Estadual de Recursos Hídricos da Bahia, a Conferência do Meio Ambiente, como instrumentos dessa lei (BAHIA, 2009).

Essa mesma lei apresenta a composição do Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos (SEIRH), que é composto pelo (a):

- a) Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH): é um órgão consultivo, responsável por formular a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH);
- b) Secretária Estadual de Meio Ambiente (SEMA): sua função de implementar políticas públicas relacionadas a PERH. Tem como órgão da administração indireta o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA). Criado pela Lei nº 12.212/11. Fazem parte de suas competências a expedição de licenças ambientais para outorga de direito de uso de recursos hídricos, efetuar a cobrança pelo uso desses recursos e realizar estudos, pesquisas e ações para a melhoria ambiental.

Para garantir que esses planos sejam desenvolvidos e que a oferta de água com qualidade seja mantida, para seus diversos usos, existe um setor específico, a Diretoria da Água, que possui as coordenações de Recursos Hídricos, de Cobrança de Uso de Água e Segurança das Barragens (BAHIA, 2011).

c) Instituto de Gestão de Águas e Clima (INGÁ): com a finalidade de gerir e executar a PERH de prevenção, mitigação e adaptação dos efeitos das mudanças climáticas, foi extinto e suas atribuições foram englobadas nas atividades do INEMA.

d) Comitês de Bacias Hidrográficas: é um órgão consultivo, deliberativo e normativo, vinculado ao CONERH.

e) Agências de Bacias Hidrográficas: prestam assistência técnico, administrativa e operacional aos Comitês de Bacias. A Agência Reguladora de Saneamento Básico do Estado da Bahia (AGERSA), de acordo com as políticas nacional e estadual de recursos hídricos, é a responsável por manter atualizado o balanço hídrico de disponibilidade de água, mas o que acontece é que esses dados não são disponibilizados ou são inexistentes.

f) Órgãos setoriais / ou sistêmicos, cujas atividades ou competências guardem relação com a gestão ou uso dos recursos hídricos no Estado da Bahia: são órgãos da administração responsáveis por implementar a PERH, disponibilizar informações e propor normas técnicas para o CONERH.

g) Companhia de Engenharia Ambiental do Estado da Bahia (CERB): responsável pelo saneamento básico rural.

Para facilitar a gestão das águas no país, a Resolução nº32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) apresentou a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões que apresentem bacias hidrográficas com característica naturais, sociais e econômicas parecidas. Na Bahia, também ocorreu a divisão estadual em Regiões de Planejamento e Gestão de Águas (RPGAs), através da Resolução nº43/2009 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CNERH).

De acordo com a divisão nacional, o território baiano está inserido nas regiões do Atlântico Leste e a do Rio São Francisco. Na primeira se localiza o RPGA VI, do Rio Pardo, que compreende a sub-bacia do Rio Água Fria, área de estudo do trabalho atual.

Em 2010, essas regiões estaduais foram aceitas como as Unidades de Gestão de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas (UGRHs) de rios de domínio da União, através da Resolução CNRH nº 109, com a finalidade de implantar os Comitês de Bacia e implementar os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (fig.3).



**Figura 3** - Situação das bacias da região em relação a divisão hidrográfica nacional. O Rio dos Monos deságua no Rio Água Fria, que deságua no Rio Catolé, que é afluente do Rio Pardo, que tem o mesmo nome do RPGA e faz parte da UGRHI do Atlântico Leste.

Em 2015 foi instituída a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais do Estado da Bahia, através da lei nº 13.223. Esse sistema de pagamento é uma:

“(...) estratégia de preservação dos ecossistemas, na qual o provedor recebe pagamentos ou incentivos condicionados, diretamente do pagador ou através do mediador, como retribuição, monetária ou não, pelos serviços ambientais executados por ele, tais como atividades de manutenção, preservação, restauração, recuperação, uso sustentável ou melhoria dos ecossistemas ou pelos serviços ecossistêmicos que estes provêm isolada ou cumulativamente” (BAHIA, 2015).

Ao se tratar do nível municipal de gestão de águas, a Lei Orgânica nº 528/90, de Vitória da Conquista, diz que é responsabilidade do município exercer, no âmbito de seu território, competências comuns com a União e o Estado, previstas na Constituição Federal e na Constituição Estadual, como registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seu território, promover programas de saneamento básico.

O saneamento está diretamente relacionado com a gestão dos recursos hídricos, levando em consideração o abastecimento de água e o destino final de efluentes. Ainda de acordo com a referida lei orgânica:

**“Art. 192.** O Município instituirá, isoladamente ou em conjunto com o Estado, e com a participação popular, programa de saneamento urbano e rural com o objetivo de promover a defesa preventiva da saúde pública, respeitadas a capacidade de suporte do meio ambiente aos impactos causados e as diretrizes estabelecidas no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano.

**§1º.** As prioridades e a metodologia das ações de saneamento deverão se nortear pela avaliação do quadro sanitário da área a ser beneficiada, devendo ser o objetivo principal das ações a reversão e a melhoria do perfil epidemiológico.

**§2º.** O Município desenvolverá mecanismos institucionais que compatibilizem as ações de saneamento básico, de habitação, de desenvolvimento urbano, de preservação do meio ambiente e de gestão de recursos hídricos, buscando integração com outros municípios nos casos que exigirem ação conjunta” (VITÓRIA DA CONQUISTA, 1990).

A lei municipal nº 547/90 criou o Conselho de Defesa do Meio Ambiente (CODEMA), destinado a ser órgão consultivo, orientador e normativo do município no que concerne à sua política de expansão, desenvolvimento, prevenção e defesa de sua ecologia., conforme prescrito na lei orgânica do município de Vitória da Conquista. Dentro de suas atividades, tem a responsabilidade proceder estudos para elaboração a aperfeiçoamento de recursos legais destinados a proteção contra a poluição de cursos d'água (VITÓRIA DA CONQUISTA, 1990). Essa lei foi revogada pela lei nº 1.085/2001, a qual substitui o CODEMA pela Conselho Municipal de Meio Ambiente-COMMAM, cabendo coordenar, controlar e executar Política Ambiental do Município será de competência à Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SEMMA (VITÓRIA DA CONQUISTA, 2001).

Em 2007 foi criado o Código Municipal de Meio Ambiente, pela Lei nº 1.410, que institui a Política Municipal de Meio Ambiente e cria o Sistema Municipal do Meio Ambiente - SIMMA, para a administração da qualidade ambiental, a proteção, o controle, o desenvolvimento e o uso adequado dos recursos naturais. Essa lei também trata dos limites para Áreas de Proteção Permanente (APP), parâmetros para lançamento de efluentes, drenagem de águas pluviais e servidas da sede municipal para os rios e Barragens. Destaca que, em situações emergenciais, o Poder Executivo poderá limitar ou proibir, temporariamente, o uso da água ou o lançamento de efluentes nos cursos de água.

Ao considerar que a água da cidade de Vitória da Conquista vem do município de Barra do Choça, é necessário conhecer a legislação ambiental dessa cidade também. Em sua lei orgânica municipal traz dois artigos pertinentes:

Art. 185. O Município deve estruturar, na forma da lei, a administração integrada dos recursos ambientais, podendo participar da gestão da bacia hidrográfica com outros Municípios e representantes dos usuários dessas bacias.

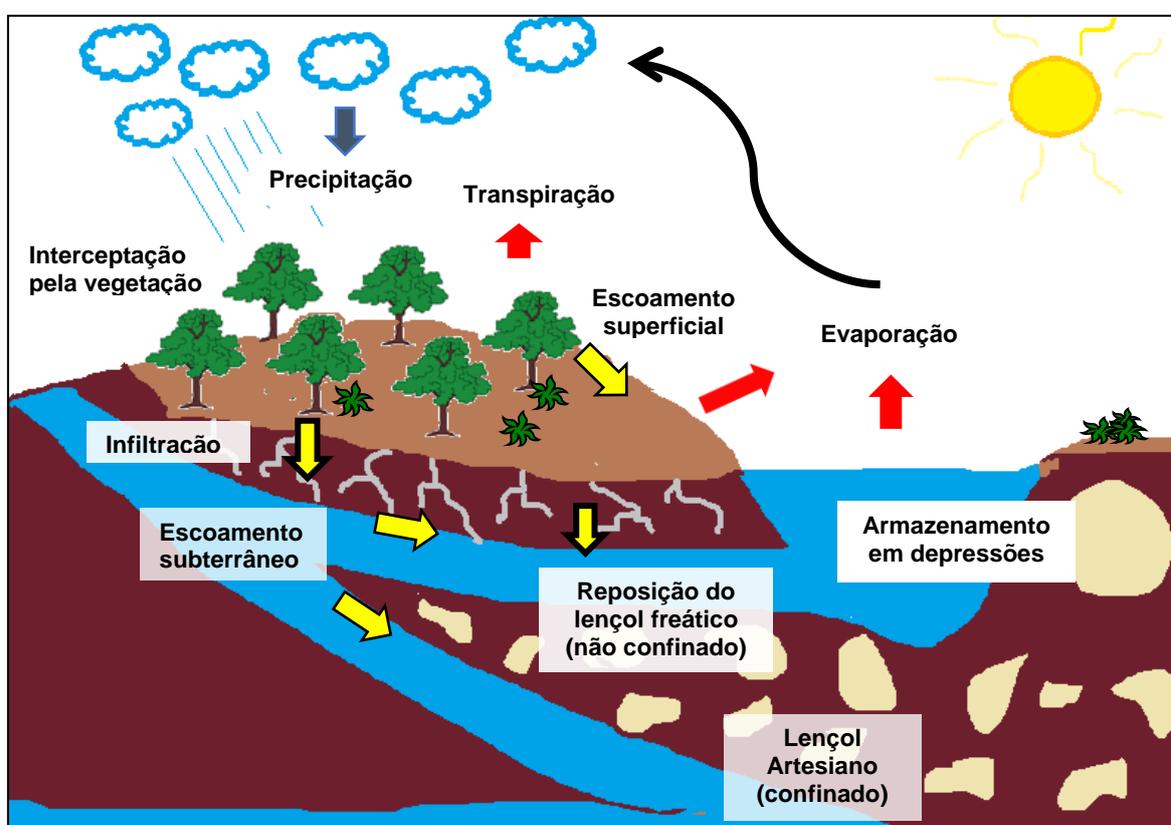
Art. 186. O Município promoverá, na forma da lei, em conjunto com os demais interessados, a implantação de comitês de sub-bacias hidrográficas de seu território, com vistas a compatibilizar as ações conjuntas dos organismos envolvidos.

Em Barra do Choça já existe um Comitê Gestor da Bacia do Rio Catolé, do qual faz parte a sub-bacia do Rio Água Fria. Esse comitê foi instituído pelo Decreto municipal nº15/2016 e ainda não consta na lista de comitês do *site* oficial dos Comitês de Bacias do Brasil, atualizado pela Agência Nacional de Águas. Portanto, não foram encontradas ações de seus membros que pudessem ser descritas. Mas eles teriam as competências de “aprovar o Plano de Recursos Hídricos, arbitrar conflitos pelo uso da água, em primeira instância administrativa, estabelecer mecanismos e sugerir os valores da cobrança pelo uso da água, dentre outras (ANA, 2015).

Ao se tratar de Legislação Ambiental, o Estado da Bahia tem evoluído, principalmente em relação a gestão de recursos hídricos, mas ainda falta estabelecer alguns comitês de bacia, inclusive o do rio Pardo, do qual faz parte a hidrografia da cidade de Barra do Choça e a maior parte de Vitória da Conquista. Portanto, os maiores desafios da região é tornar a legislação conhecida e praticá-la.

## 2.3 O ciclo hidrológico

O funcionamento de uma bacia hidrográfica está associado ao ciclo hidrológico (fig.4), que é uma sucessão de fases que água percorre para cair na terra e depois retornar à atmosfera, de forma cíclica. O fenômeno de formação da água, sua circulação, distribuição no espaço e no tempo, características físico, químicas e bacteriológicas são estudados pela (TUCCI, HESPANHOL e CORDEIRO NETO, 2001). A água circula na atmosfera, hidrosfera e litosfera, dentro de um limite aproximado de 1km na litosfera e cerca de 15 km na atmosfera (LIMA, 2008).



**Figura 04 -** Ciclo hidrológico da Água.  
Fonte: (SILVA e MELLO, 2017).

A **precipitação** é o resultado da deposição da água presente na atmosfera sobre a superfície terrestre, nas suas diferentes formas, neve, geada, orvalho, granizo ou chuva. Nesse trabalho será considerada a chuva, pois os outros fenômenos não são comuns na região. A característica da precipitação está relacionada às interferências nas massas causadas pela temperatura da superfície, pelo encontro de massas com diferentes temperaturas ou quando é impedida de se dispersar por barreiras do relevo.

Quando a chuva cai, parte pode ser interceptada pelas folhagens da vegetação e evaporar antes de chegar ao solo ou fazer com que a velocidade da água seja amortecida até chegar ao solo, causando menos processos erosivos, melhorando a **infiltração** e conseqüentemente a recarga de aquíferos. Esse processo é influenciado pela cobertura vegetal da região (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

A água pode ficar armazenada em depressões, outra parte pode infiltrar no solo, profundamente, contribuindo para a recarga do lençol freático, abastecendo os aquíferos e umedecendo o solo para absorção pelas plantas. Essa água infiltra através da superfície, penetra nos interstícios do solo, até que diminua a capacidade de armazenamento do solo, onde escoar de forma subterrânea, lentamente (ZAKIA, 1998).

O **escoamento superficial**, que é o mesmo que **deflúvio** ocorre, no momento das chuvas, pela lavagem do solo, de forma rápida e carreando nutrientes do solo. Essa água pode ser absorvida no decorrer do seu percurso ou cair na calha dos rios e continuar a escoar, principalmente quando a intensidade de chuva é maior do que a capacidade de infiltração, originando as vazões dos rios.

Em uma bacia hidrográfica o deflúvio é dado em milímetros (mm) de altura sobre a área da bacia. Um mm é igual 1 litro de água por metro quadrado. O volume de água escoada por unidade de tempo é definido como vazão ou descarga, que pode ser dada em  $m^3/s$  ou L/s. Quando essa vazão é dividida pela área da bacia é obtida a **vazão** ou **descarga específica**, que é dada  $m^3/s.km^2$  (LIMA, 2010).

O deflúvio pode ser **direto** ( $Q_d$ ) quando ocorre o escoamento de forma rápida após uma chuva. A sua variabilidade está associada a intensidade da chuva, a capacidade de infiltração do solo e à precipitação sobre solos saturados. Ou **de base** ( $Q_b$ ), quando a água subterrânea escoar lenta e continuamente, mesmo em períodos de estiagem, subsuperficialmente. O deflúvio total corresponde a  $Q=Q_d+Q_b$ .

Quando o solo não tem um manejo adequado pode interferir nesse processo. Nos solos compactados a água infiltra com dificuldade e os solos desnudos, revolvidos ou arenosos podem sofrer com a erosão provocada pelo escoamento superficial.

A incidência luminosa e a força dos ventos sobre águas superficiais fazem com que ocorra o fenômeno de **evaporação** pelo aquecimento agitação das moléculas de água presentes nos reservatórios superficiais ou no solo úmido.

A **transpiração** é resultante da atividade fisiológica dos seres vivos, que libera a umidade retirada do solo e para o meio ambiente. As plantas retiram essa umidade diretamente do solo através das raízes e elimina na fotossíntese, pela abertura dos estômatos. Os animais absorvem água através do consumo alimentos e de água, eliminando através da respiração e excreção. A **evapotranspiração** é a soma dos dois processos anteriores e pode ser afetada pela temperatura local. Em maiores temperaturas se torna mais acelerado. Compreender a evapotranspiração é saber o quanto de água que é transferido dos seres vivos e do solo para a atmosfera.

O clima semiárido, apresentado na região Nordeste do Brasil, se caracteriza por precipitação pluviométrica de regime irregular, com média anual inferior à 800mm. Também possui altas taxas de evapotranspiração, que pode causar a diminuição da disponibilidade hídrica, o aumento da concentração de sólidos dissolvidos nas fontes hídricas superficiais, podendo ser eutrofizadas ou salinizadas. Quanto as fontes subterrâneas, a concentração de sais possui uma média de 3 g/L, uma característica de água salobra (BRITO, MOURA e GAMA , 2007).

## 2.4 Balanço Hídrico

O balanço hídrico é o saldo dos processos hidrológicos, que geram entradas e saídas de água no meio ambiente, resultando no serviço ecossistêmico que disponibiliza água para a natureza, sem a intervenção humana. De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos, deve fazer parte dos Planos de Recursos Hídricos o “balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais” (BRASIL, 1997).

Esse cálculo é necessário para que as outorgas de direito de uso de água sejam liberadas, não ocorra uma retirada excessiva dos corpos hídricos e para o planejamento de recuperação de áreas degradadas, através de florestamento, que exige consumo de água (ANA, 2005; LIMA, 2010).

A equação pode ser representada pela própria lei de conservação de massa (LIMA, 2008):

$$I - O = \Delta S$$

Onde:

I=fluxos positivos (entrada de água)

O= fluxos negativos (saída de água)

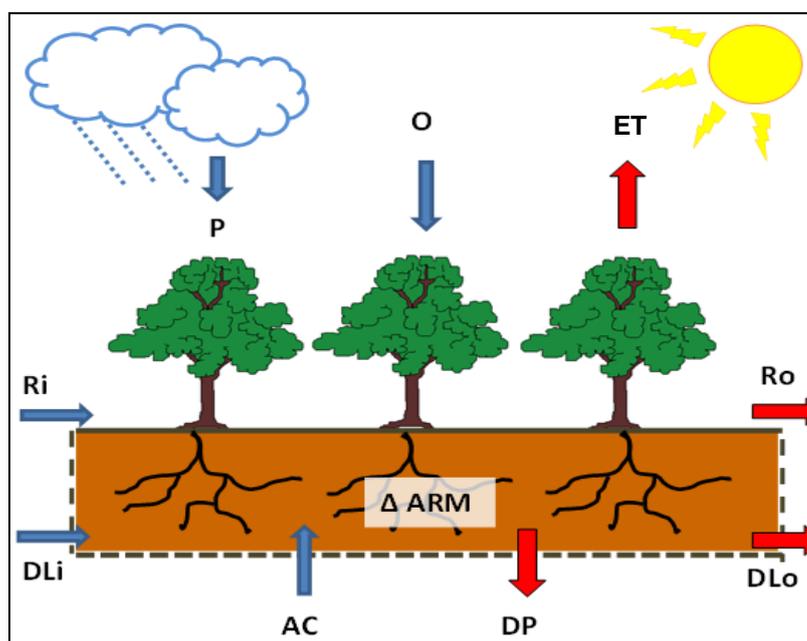
$\Delta S$ = variação no armazenamento de água na bacia.

Existem vários métodos para a determinação do balanço hídrico de uma bacia dependendo da disponibilidade de informações e do objetivo que se quer alcançar. O modelo matemático mais utilizado, pela praticidade para realizar esse cálculo, é o método de Balanço Hídrico Climatológico descrito por *Charles Warren Thornthwaite* e *John Russ Mather* em 1955, que utiliza como dados de entrada a **precipitação** e **temperaturas** médias mensais e dados tabulados, que utilizam como fator de correção a latitude local (SENTELHAS, PEREIRA, *et al.*, 2017).

O balanço hídrico climatológico pode ser **normal** ou **sequencial**. O primeiro é utilizado para caracterizar uma região utilizando dados médios e o segundo utiliza dados de um período ou sequencias de períodos. Depois de obter os valores, eles são apresentados graficamente para melhor compreender a dinâmica das entradas e saídas de água da região em estudo.

No balanço hídrico de *Thornthwaite-Mather* a bacia hidrográfica é considerada como um recipiente de solo aberto, com uma determinada capacidade de armazenamento, conforme as características físico-químicas características do local. Isso corresponde à capacidade máxima de retenção de água no solo (CAD), que, para estudos climatológicos, o valor adotado é de **100 mm**. Quando há mais chuvas do que evapotranspiração existe um excesso de água e quando existe mais evapotranspiração do que chuva, ocorre a deficiência de água no sistema.

Nessa compreensão do balanço hídrico são consideradas apenas as condições naturais de entrada e saída de água, relacionando-as aos conceitos de ciclo hidrológico e de bacia hidrográfica (fig. 5). Os **fluxos de entrada de água** no sistema são a chuva, o orvalho, o escoamento superficial (*run in*), o escoamento subterrâneo de entrada (drenagem lateral de entrada), a ascensão capilar. Os **fluxos de saída de água** são a evapotranspiração, o escoamento superficial de saída (*run off*), o escoamento subsuperficial (drenagem lateral de saída) e a drenagem profunda (infiltração) (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2002).



**Figura 5** - Balanço hídrico considerando a bacia como um recipiente cheio de solo capaz de armazenar 100mm de água. A entrada de água é dada pela precipitação (P), orvalho (o), escoamento superficial (Ri), escoamento subsuperficial (DLi) e ascensão capilar (AC). As saídas de água se processam pela evapotranspiração (ET), o escoamento superficial (Ro), o escoamento subsuperficial (DLo) e a drenagem profunda (DP). Ao subtrair as saídas das entradas é obtida a variação de armazenamento de água no solo ( $\Delta \text{ARM}$ ).

Fonte: (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2002).

Alguns desses valores podem ser anulados. O orvalho tem valor ínfimo e só faz diferença em regiões áridas, a ascensão capilar só é considerada em locais com lençol freático superficial, nos períodos de seca, mas seus valores são pequenos e desprezíveis. Os fluxos de água horizontais se anulam como o escoamento superficial e subterrâneo de entrada e saída de água no sistema ( $R_i - R_o = 0$ ;  $D_{Li} - D_{Lo} = 0$ ).

Com uma determinada CAD é possível calcular os valores de armazenamento de água no solo (ARM) e a alteração da água no solo (ALT). A ALT pode apresentar valores positivos e negativos. O seu somatório anual é igual à zero. Seu valor é igual a  $\Delta ARM$  ( $ARM_{inicial} - ARM_{inicial-1}$ ).

Esse modelo também permite calcular a evapotranspiração real (ETR), evapotranspiração potencial (ETP), deficiência hídrica (DEF) e de excedente hídrico (EXC). Assim, facilita as tomadas de decisão em casos onde se verifique que há excedentes ou deficiências nos volumes de água (SENTELHAS, PEREIRA, *et al.*, 2017).

A **evapotranspiração real** é a soma do vapor emanado para a atmosfera em uma área vegetada, nas condições atuais, com qualquer tamanho, sob qualquer circunstância de umidade e tipo cultura. A **evapotranspiração potencial** é a estimativa da água perdida como vapor em uma determinada área, com uma dada condição climática, que tenha toda a superfície vegetada, com crescimento ativo e suprimento constante de água no solo. Ou seja, é um valor teórico para condições predeterminadas, que serve como referência comparativa (ROSSATO, 2002).

Na evapotranspiração potencial é considerada a máxima capacidade de evapotranspiração, levando em consideração que se não há falta de água, os processos fotossintéticos não são afetados e a transpiração que ocorre através da abertura dos estômatos é mantida. Enquanto que na evapotranspiração real nem sempre há suprimento de água, enquanto as plantas transiram, água é retirada do solo. Se existe escassez de água e altas temperaturas, os processos fotossintéticos diminuem e ocorre a redução da transpiração pelo fechamento dos estômatos, como forma da planta reduzir a perda de água para o meio.

A deficiência hídrica é a diferença entre a evapotranspiração potencial e a real. Quando ocorre essa deficiência, o volume de água armazenado no solo fica inferior à capacidade máxima de água no solo.

O excedente hídrico é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, menos a alteração de água no solo. É quando o solo atinge a sua capacidade máxima de retenção de água (CAD) que será igual ao volume de água armazenado no solo (ARM).

Analisando os resultados, quando subtraímos da precipitação os valores de evapotranspiração somado a vazão de escoamento (que pode ser negativa ou positiva) o resultado é nulo. Quando a precipitação menos a evapotranspiração for maior do que zero ( $P - ET > 0$ ), significa que houve reposição de água no solo e a evapotranspiração real (ETR) será igual à evapotranspiração potencial (ETP). Quando esse resultado for menor do que zero ( $P - ET < 0$ ), indica que houve retirada de água do solo e começará a secar, e que a disponibilidade natural de água está comprometida antes que exista a intervenção humana na retirada de água do meio ambiente (LIMA, 2008).

Para facilitar a compreensão dos resultados, a tabela a seguir apresenta a síntese das possibilidades na avaliação de uma determinada área (Tab.1):

**Tabela 1** - Resumo do balanço hídrico para facilitar a análise de resultados.

BALANÇO HÍDRICO	CONSEQUÊNCIAS
$(P - ETP > 0)$ $ETR = ETP$	<b>Reposição</b> de água no solo
$(P - ETP < 0)$ $ETR < ETP$	<b>Retirada</b> de água do solo
$ARM < CAD$ $EXC=0$	Não há excedente de água no solo
$ARM = CAD$	Poderá ocorrer excedente de água.

Com o uso do Balanço Hídrico de *Thornthwaite-Mather* pode-se estimar o deflúvio anual médio esperado nas bacias estudadas, pois utiliza os dados de precipitação para calcular a evapotranspiração. A diferença entre a precipitação e a evaporação é deflúvio, a água produzida pelo sistema hídrico e que contribuirá para o volume das barragens.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização das bacias hidrográficas

Foi realizado um estudo de caso, tomando as barragens que abastecem a cidade de Vitória da Conquista como objeto de estudo para avaliar alternativas para revitalizar bacias hidrográficas. O estudo foi realizado nas bacias do Rio Água Fria e Monos, que abastecem as Barragens de Água Fria I e II, localizadas na cidade de Barra do Choça, no sudoeste da Bahia.

As áreas de influência do entorno dos rios foram chamadas de bacias e a área da bacia a montante dos vertedouros foram chamadas de sub-bacias, seguindo apenas um critério hierárquico para facilitar o estudo, representando unidades que se juntam para formar bacias maiores.

Os dados planialtimétricos foram obtidos de uma imagem do *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), folha *sd-24-ya* (MIRANDA, 2005), que foi trabalhada através do *software* livre QGIS versão 2.18.4. Os pontos de localização dos vertedouros foram marcados através do *Google Earth™* e as localizações das cidades foram adquiridas no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esses dados foram utilizados para elaborar os mapas das bacias.

Com os mapas prontos foram calculados os parâmetros físicos das bacias para caracterizá-las, já que esses dados não foram encontrados em outras fontes como (ANA, 2015; LIMA, 2008):

a) Área (A): É a grandeza que define o tamanho da superfície da bacia, para ser utilizado nos cálculos de volume de chuva, escoamento superficial e declividade média, dada em m<sup>2</sup>, km<sup>2</sup>, ha.

b) Perímetro (Pb): É a medida linear do contorno da bacia. Entra no cálculo do coeficiente de compacidade, que está associado à forma.

c) Comprimento do talvegue dos rios (Lt): É o comprimento do rio principal da nascente até a foz.

d) Comprimento axial dos rios(L): é o comprimento do eixo da bacia, da foz até o ponto mais longínquo extremo.

e) Comprimento da rede de drenagem (L<sub>tot</sub>=soma do comprimento de todos os afluentes mais o comprimento dos rios principais).

g) O fator de forma ( $K_f = A/L^2$ ): Indica se a bacia é mais alongada ou circular. Quando os valores são maiores ou iguais a 0,75, a bacia é mais arredondada e quando chove o escoamento se concentra rapidamente podendo ocasionar enchentes. Entre 0,5 e 0,7, essa tendência é mediana e abaixo de 0,5 não há risco de enchentes.

h) O coeficiente de compacidade ( $K_c = 0,28 \times (Pb/\sqrt{A})$ ): Também está associado a probabilidade de enchentes, relacionando o perímetro da bacia com sua área e compara com um círculo. Valores entre 1 e 1,25, indicam que a bacia possui alta propensão a enchentes. Entre 1,25 e 1,50, essa tendência é mediana e quando esse valor é maior do que 1,50, não há riscos de enchentes.

i) A densidade de drenagem ( $D_d = L_{tot}/A$ ): Determina o tempo gasto para a água escada sair da bacia, dividindo a medida total da rede drenagem pela área da bacia. Valores acima de 3,5 km/km<sup>2</sup>, indicam que a bacia é excepcionalmente drenada. Entre 2,5 e 3,5 km/km<sup>2</sup>, essa drenagem é muito boa. Entre 1,5 e 2,5 km/km<sup>2</sup>, a drenagem é boa. Entre 0,5 e 1,5 km/km<sup>2</sup>, a drenagem é regular. E bacias com  $D_d < 0,5$  km/km<sup>2</sup>, possuem a drenagem pobre.

A Barragem Água Fria II funciona como exutório, local de convergência de escoamento, para o Rio dos Monos exatamente no ponto onde desaguaria no Rio Água Fria, cujo curso continua após a barragem até desaguar no Rio Catolé. Por isso houve a necessidade de estudar cada bacia separadamente, pois cada uma pode ter um comportamento diferenciado e talvez tenham necessidades de intervenções diferentes.

Os dados de caracterização das barragens foram obtidos através do inventário de barragens do INEMA.

### 3.2 Caracterização hidrológica local

Os dados de precipitação e temperaturas mensais da região foram obtidos na estação pluviométrica OMM 83344, localizada na latitude 14,88° S e longitude 40,79°O, através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016). O período utilizado foi de 1994 a 2016 para cálculo das médias mensais através de uma planilha eletrônica.

### 3.3 Demanda de água

A necessidade diária de água por cada cidade foi estimada multiplicando o valor médio para o consumo humano na região, que é de entre 0,08 m<sup>3</sup>/dia e 0,16 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, 0,12 m<sup>3</sup>/dia (IBGE, 2000), pela população local. A população (p) foi estimada multiplicando o número de economias abastecidas em 2016, conforme dados da EMBASA, pela média de habitantes por economia 3,4 na Bahia (IBGE, 2010).

Economias abastecidas, nesse sentido, são: “moradias, apartamentos, unidades comerciais, salas de escritório, indústrias, órgãos públicos e similares, existentes numa determinada edificação, que é atendida pelos serviços de abastecimento de água. Em um prédio com ligação para abastecimento de água, cada apartamento é considerado uma economia abastecida, que pode estar ativa ou inativa” (IBGE, 2010). Dessa forma é possível apresentar a seguinte equação (ANA, 2015):

$$\tilde{Q} = p \times q$$

$\tilde{Q}$  = Vazão média anual necessária para abastecimento (m<sup>3</sup>/dia)

p = (número de economias) X (média de habitantes / economia)

q = consumo médio *per capita* (m<sup>3</sup>/hab. dia).

As outorgas de direito de uso dos recursos hídricos foram obtidas com ajuda do INEMA, através de nota técnica, contendo os pontos georreferenciados das captações, que foram lançados no *Google Earth*, para identificar aqueles que estavam dentro das bacias em estudo.

### 3.4 Precipitações e o balanço hídrico de *Thornthwaite - Mather*

Foi elaborado um histograma de frequência de chuvas anuais, importante para definir a variabilidade sazonal que caracteriza a região e um gráfico das médias de precipitações mensais, entre os anos de 1994 e 2016, para determinar os meses mais chuvosos da região (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

Para estimar o deflúvio médio anual esperado na bacia de acumulação da barragem foi utilizado o cálculo de balanço hídrico de climatológico de *Thornthwaite - Mather* através de uma planilha elaborada pelo Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo / ESALQ-USP (ROLIM, SENTELHAS e BARBIERE , 1998).

Esse estudo importa no Balanço Hídrico entre o volume de água disponível naturalmente e o captado na bacia hidrográfica, para a verificação de um saldo positivo ou negativo de oferta de água suficiente para os diversos usos da bacia (CNERH, 2005). Isso contribui para o desenvolvimento de ações que visem à conservação dos mananciais para manter a produção de água com qualidade para o uso humano.

### 3.5 Vazão

As vazões dos rios que contribuem para a Barragem de Água Fria II de 2012 a 2016 foram obtidas em estações fluviométricas de responsabilidade da concessionária de abastecimento local (EMBASA). O vertedor onde foram feitas as leituras de vazão, do Rio Água Fria, se localiza latitude 14,94°S e longitude 40,61°O e o vertedor do Rio dos Monos fica na latitude 14,93°S e longitude 40,56°O. Ambas se situam nos exutórios das sub-bacias dos referidos rios.

Para determinar a frequência das vazões e determinar a probabilidade de obter vazões adequadas para o abastecimento na Barragem Água Fria II, foi necessário calcular a vazão específica ( $m^3/s.km^2$ ) para a bacia do Rio Água Fria e para a bacia do Rio dos Monos. Nesse caso os dados de vazões obtidos, das estações fluviométricas são divididos pela área das sub-bacias, em metros quadrados (LIMA, 2008):

$$\text{Vazão específica} = \frac{\text{Vazão da microbacia (m}^3/\text{s)}}{\text{Área da microbacia (km}^2\text{)}}$$

E para estimar a vazão anual multiplica-se a vazão específica por 86.400, para transformar em metros cúbicos por dia. Depois pelo tamanho total da bacia e por fim pelo número de dias do ano.

$$\text{Vazão da bacia (m}^3\text{/ano)} = \text{Vazão específica (m}^3\text{/s)} \times 86.400 \text{ (s)} \times 365 \text{ (dias)}$$

E deflúvio anual o deflúvio anual, em milímetros, é necessário utilizar o seguinte cálculo:

$$Q \text{ (mm)} = 86,4 \times \frac{T \text{ (dias)} \times Q \text{ (m}^3\text{/s)}}{A}$$

Onde:

Q (mm) = deflúvio anual

T= número de dias

Q (m<sup>3</sup>/s) = vazão da sub-bacia

A= área total da bacia (km<sup>2</sup>)

O valor 86,4 é o fator de tempo.

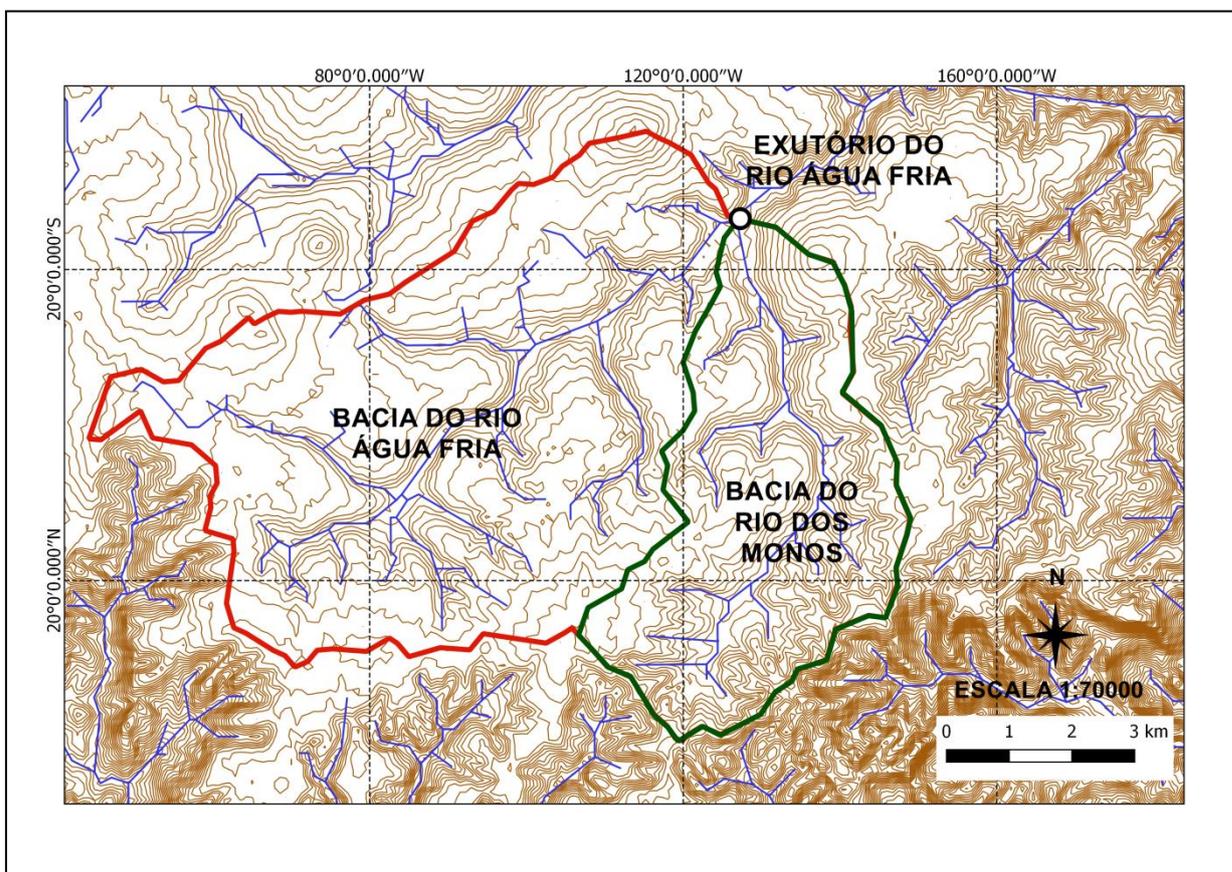
Foram elaboradas curvas com as vazões dos rios Monos e Água Fria e com a soma das duas vazões, plotadas em um **gráfico de permanência**. Essa figura funciona como um histograma de frequências acumuladas relativas das vazões e ajuda a analisar a frequência de uma vazão a qual se deseja igualar ou superar, em um determinado rio. Nesse caso seria a vazão média característica do rio. Também ajuda a “diferenciar o comportamento de rios e avaliar o efeito da variabilidade climática e de modificações como desmatamento, reflorestamento, construção de reservatórios e extrações de água para uso consuntivo” (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015). Foi utilizada uma planilha eletrônica, usando os dados diários de vazão, para o cálculo dos quantis de 1% a 99%, representados no gráfico de linhas. O Q<sub>90</sub> indica a vazão que vai ser igualada ou superada em 90% do tempo. Assim, em casos de intervenções, será essa vazão de referência para saber se o rio atende ao que se deseja fazer.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Bacias hidrográficas que compõem a área de contribuição das barragens do Rio Água Fria.

Os rios Água Fria e Monos formam a bacia de captação das barragens Água Fria I e II. Eles são afluentes da bacia do rio Catolé, que é um dos mais representativos no município de Barra do Choça. Os rios que banham essa cidade pertencem à margem direita do médio Rio Pardo (OLIVEIRA, 2006).

O Rio dos Monos é afluente do rio Água Fria e eles se encontram na Barragem de água Fria II, que funciona como um ponto de convergência para a água, o exutório (fig.6).



**Figura 6-** Delimitação das áreas das bacias dos rios Água Fria e Monos, sobre as curvas de nível. O exutório aponta o sentido para onde corre o fluxo dos rios e onde se encontram, coincidindo com a barragem Água Fria II.

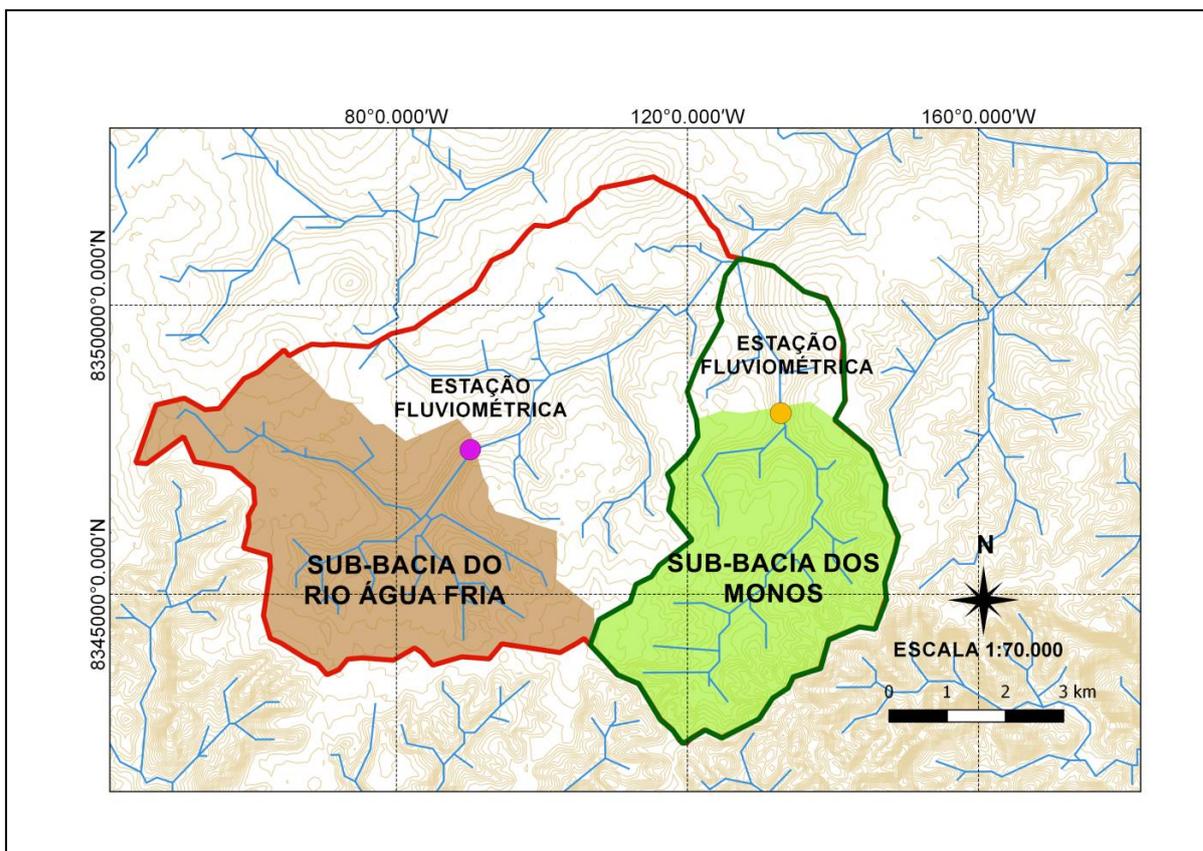
As bacias dos Rios Água Fria apresentam padrão de drenagem dendrítico (com forma de galhos de árvore), característicos de regiões consolidadas sobre rochas resistentes e uniformes. Apresenta 3ª ordem de classificação, conforme a rede de canais apresentada, conforme a classificação de *Strahler*, onde os canais de primeira ordem, originados nas nascentes, se juntam formando canais de 2ª ordem e assim sucessivamente. A ordem do canal de saída da bacia que indica qual a ordem da bacia. (LIMA, 2008). Os dados gerais das bacias que abastecem a barragem do rio Água Fria estão sintetizados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Características das Bacias dos Rios Água Fria e Monos.

Características	Bacia Rio Água Fria	Bacia Rio dos Monos
Área (A)	48,37 km <sup>2</sup>	27,67 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	37,54 km	27,42 km
Comprimento do Rio Principal	11,53 km	10,27 km
Comprimento da Rede de Drenagem ( $L_{tot}$ )	30,34 km	26,60 km
Comprimento Axial (L)	10,22 km	8,84 km
Comprimento do Talvegue ( $L_t$ )	11,53 km	10,27 km
Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ )	1,51	1,46
Fator de forma ( $K_f$ )	0,46	0,35
Densidade de Drenagem ( $D_d$ )	0,63 km/km <sup>2</sup>	0,96 km/km <sup>2</sup>

O  $K_c$  correlaciona o perímetro com a área da bacia e o  $K_f$ , a área com o comprimento axial, o primeiro apresenta o valor  $> 1,50$  e o segundo  $< 0,50$ , indicando que a bacia do Rio Água Fria não está sujeita a enchentes. A sua  $D_d$  entre 0,5 e 1,5, indica que é uma bacia com drenagem regular. A bacia do Rio dos Monos também possui drenagem regular, mas se difere, pois, seu  $K_c$  entre 1,25 e 1,50, indica que é uma bacia com tendência mediana a enchentes e o  $K_f = 0,35$  diz que não está sujeita a enchentes (ANA, 2015).

Para realizar o dimensionamento do deflúvio e das vazões produzidas pela área das bacias foi necessário delimitar as sub-bacias (fig.7) à montante das estações fluviométricas. Pois é a partir da sub-bacia, onde existe uma vazão medida, em uma área determinada, que é possível calcular a vazão específica e projetar o dado para toda a área da bacia.



**Figura 7** - Sub-bacias dos rios Água Fria e Monos. A área marrom apresenta a sub-bacia do Rio Água Fria, desenhada a partir do ponto rosa, onde se localiza a estação fluviométrica. A sub-bacia do Rio dos Monos, em verde, foi desenhada a partir da estação fluviométrica representada pelo ponto amarelo. A bacia do Rio Água Fria está contornada em vermelho e o Rio dos Monos em verde.

Os dados obtidos das sub- bacias foram apresentados na Tabela 3:

**Tabela 3** - Características das sub-bacias dos Rios Água Fria e Monos.

Características	Sub-bacia do Rio Água Fria	Sub-bacia do Rio dos Monos
Área (A)	23,57 km <sup>2</sup>	19,78 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	23,35 km	18,98 km
Comprimento da Rede de Drenagem (L <sub>tot</sub> )	19,03 km	11,10 km
Comprimento Axial (L)	4,72 km	6,02 km
Comprimento do Talvegue (L <sub>t</sub> )	3,45 km	6,04 km
Coefficiente de Compacidade (K <sub>c</sub> )	1,35	1,20
Fator de forma (K <sub>f</sub> )	1,06	0,55
Densidade de Drenagem (D <sub>d</sub> )	0,81 km/km <sup>2</sup>	0,56 km/km <sup>2</sup>

Analisando separadamente as sub-bacias de ambos os rios, verificou-se que o  $K_c=1,35$  indica que a sub-bacia do Rio Água Fria não está sujeita a grandes enchentes, mas o  $K_f=1,06$ , sugerindo um risco de ocorrer enchentes. A sua  $D_d=0,81$ , indica que é uma bacia com drenagem regular. A sub-bacia do Rio dos Monos também possui drenagem regular, com  $D_d=0,56$ , seu  $K_c=1,20$ , indicando que é uma bacia com alta propensão a grandes enchentes,  $K_f=0,55$  indica, ainda, que está na faixa mediana de riscos de enchentes. As sub-bacias constituem parte das bacias, por isso são mais curtas e mais próximas do formato de um círculo.

#### 4.2 Caracterização das barragens

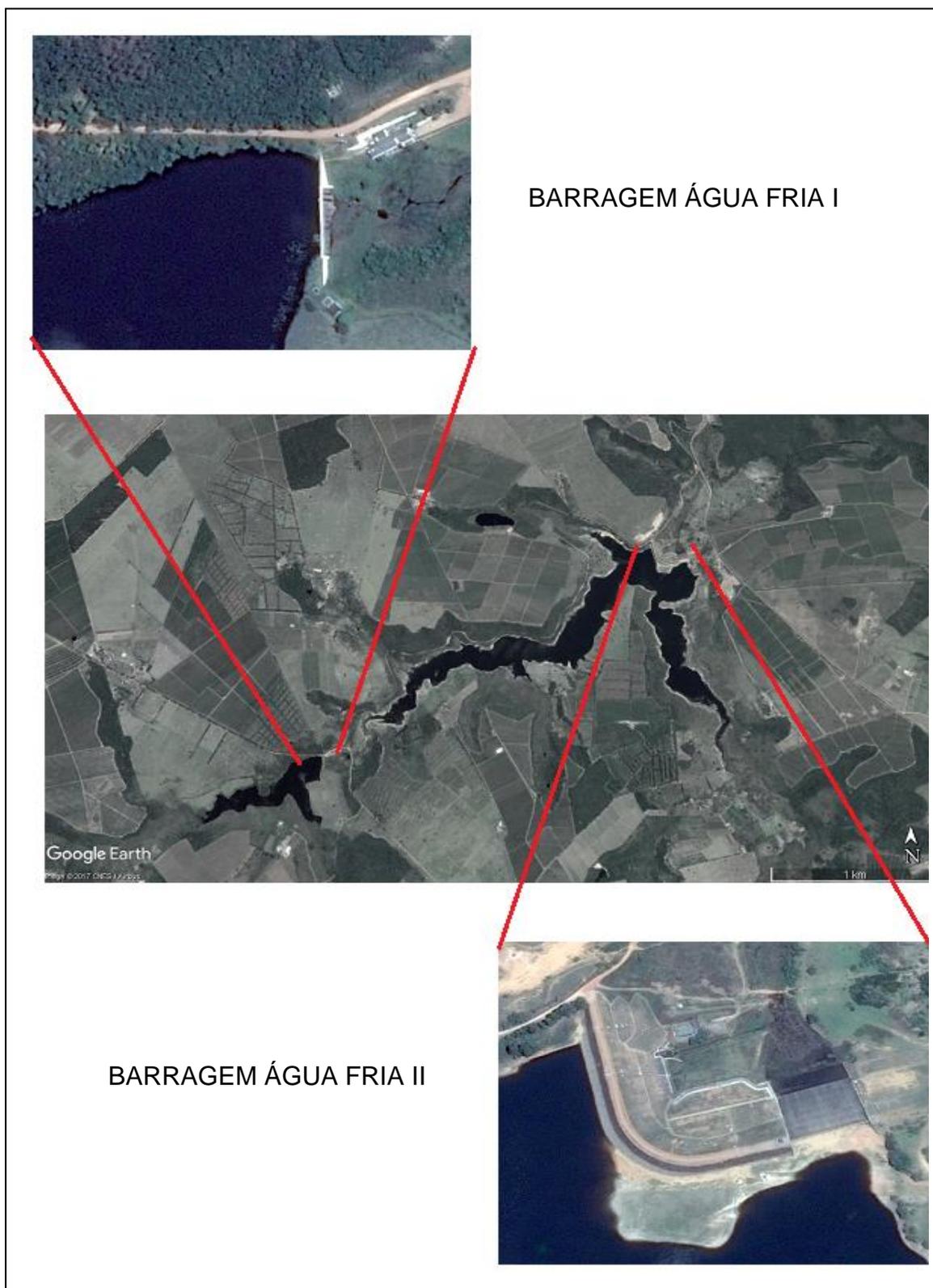
As bacias em estudo contribuem para dois barramentos, que estão caracterizados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Características das barragens alimentadas pelos Rios Água Fria e Monos

<b>Características</b>	<b>Barragem Água Fria I</b>	<b>Barragem Água Fria II</b>
<b>Altura acima do nível do terreno</b>	6m	21m
<b>Capacidade</b>	300.000 m <sup>3</sup>	6.457.645 m <sup>3</sup>
<b>Área</b>	0,14 km <sup>2</sup>	1.074 km <sup>2</sup>
<b>Comprimento</b>	55 m	394 m
<b>Ano de construção</b>	1969	1984
<b>Bacia que alimenta</b>	Rio Água Fria	Rio Água Fria e Rio dos Monos
<b>Região Hidrográfica</b>	Atlântico Leste	Atlântico Leste
<b>Localização</b> (Datum WGS84)	Latitude: -14,92°S Longitude: -40,59°W	Latitude: -14,91°S Longitude: -40,57°W
<b>Domínio do curso d'água barrado</b>	Estadual	Estadual

Fonte: (INEMA, 2017).

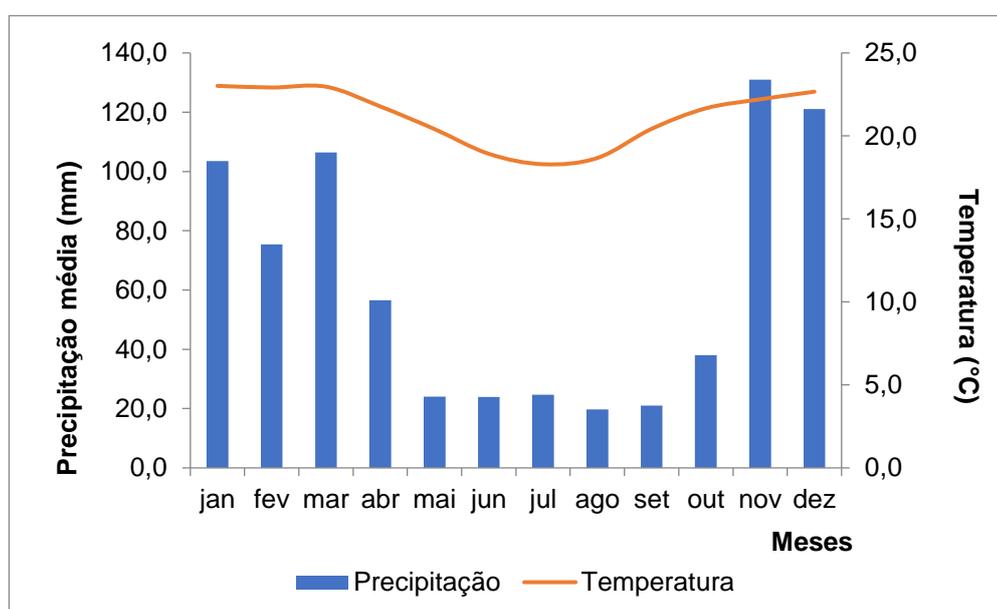
A Barragem Água Fria I é mais antiga e menor. Nos períodos de cheias seu volume verte para a Barragem Água Fria II, nas secas, suas comportas de descarga de fundo ficam abertas. Além do tamanho e localização essas duas barragens se diferem, porque ambas são alimentadas pelo Rio Água Fria, mas somente a segunda recebe a água da bacia do Rio dos Monos (fig.8).



**Figura 8** - Imagem de satélite central apresentando o Rio Água Fria e o Rio dos Monos. A imagem superior amplia a área onde está situada a Barragem Água Fria I, e na inferior está área da Barragem Água Fria II.  
Fonte: Imagens do Google Earth™.

### 4.3 Características hidrológicas da região

O período, chuvoso na região das barragens do Rio Água Fria, vai de novembro até abril, como se observa na Figura 9. Ao distribuir as médias mensais de chuvas entre os meses do ano. Nesses meses a precipitação supera o valor médio mensal de 61mm. Esse mesmo período também apresenta as maiores temperaturas médias mensais, o que pode caracterizar as precipitações como chuvas convectivas. Os outros meses do ano são característicos pelo clima frio e seco.



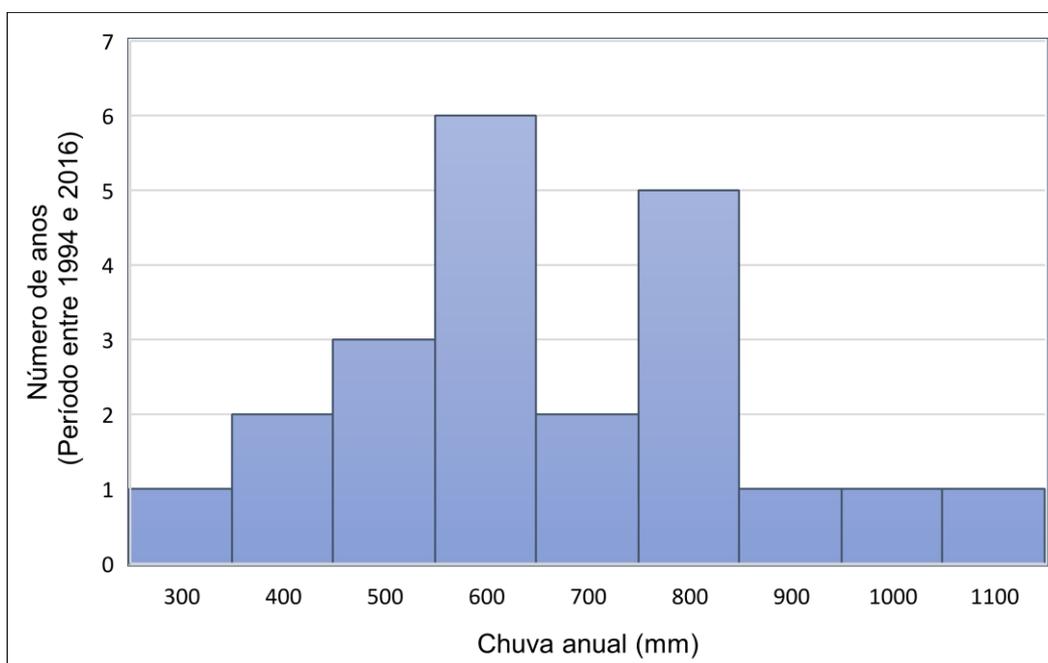
**Figura 9** – Médias mensais das chuvas em Vitória da Conquista, representadas pelas colunas e demonstrando a sazonalidade típica em cada mês do ano. E a linha demonstra a variação de temperatura durante o ano, através das médias mensais.

Fonte: (INMET, 2016)

De acordo com Lima (2008) a temperatura afeta os processos de evapotranspiração. Nos períodos mais quentes eles são intensificados afetando o Balanço Hídrico, pela retirada da água armazenada no solo. No entanto, o vapor de água compõe as massas de ar quente que se condensam, aumentando as precipitações e dando continuidade ao ciclo hidrológico.

De acordo com Brito, Moura e Gama (2007) essa região apresenta como característica do semiárido, precipitações médias anuais abaixo de 800mm. O histórico de precipitações região mostra que no intervalo de 1994 a 2016, a menor precipitação anual foi de 391mm e a maior de 1.171mm, apresentando uma média de 732mm, com um desvio padrão de 202mm.

A Figura 10 apresenta o histograma de frequência de chuvas anuais na região estudada:



**Figura 10** - Histograma de frequência de chuvas anuais na região de Vitória da Conquista.

Fonte: (INMET, 2016)

Dos 23 anos de informações sobre pluviosidade, é possível verificar que, em 12 destes anos, as precipitações foram inferiores à média anual e que a estiagem que tem comprometido o abastecimento na cidade é representada pelos últimos 6 anos. Isso é grave, porque os volumes médios de precipitação não têm sido suficientes.

#### 4.4 Demanda de Água captada na Barragem de água Fria II

O volume outorgado pela SRH para captação pela EMBASA é de 13.219m<sup>3</sup>/dia e a vazão de descarga de fundo outorgada é de 342 m<sup>3</sup>/dia. Essa concessão estará vigente por um período de 30 anos a partir de 26 de março de 2004 (DIÁRIO OFICIAL, 2004). Mas o volume necessário para atender o Sistema Integrado de Abastecimento de Água (SIAA) de Vitória da Conquista é superior, conforme o cálculo seguinte:

##### Dados:

Número de economias= **127.788 (EMBASA, 2017)**

Média de habitantes / economia= **3,4 (IBGE, 2010)**

q = consumo médio *per capita* (m<sup>3</sup>/ hab. dia) = **0,12 m<sup>3</sup>/dia**

**Cálculos:**

$p = (\text{número de economias}) \times (\text{média de habitantes / economia}) =$

$$p = 127.788 \times 3,4 = 434.479 \text{ habitantes}$$

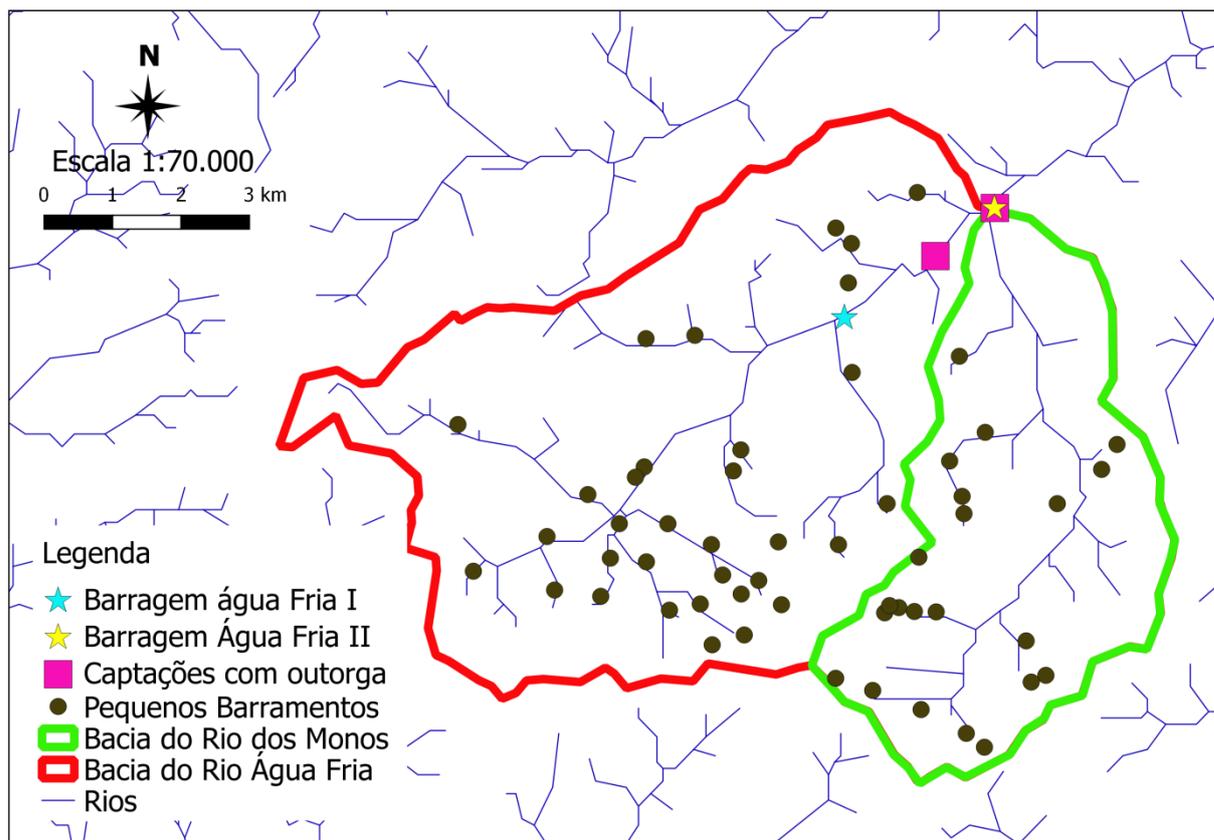
$\tilde{Q} = \text{Vazão média anual necessária para abastecimento (m}^3/\text{dia)} =$

$$\tilde{Q} = p \times q$$

$$\tilde{Q} = 434.479 \times 0,12 = 52.137 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Pode se observar que o volume médio de 52.137 m<sup>3</sup>/dia é quase 4 vezes o volume disponibilizado legalmente para captação. Ainda que esse volume de água esteja disponível, a empresa não está autorizada a realizar a captação. No período de estudo das barragens, a cidade estava em de racionamento, captando apenas 35.000 m<sup>3</sup>/dia. O volume estava sendo complementado com uma captação de emergência instalada no Rio Catolé. Em maio/2016 estava sendo bombeada uma vazão média de 9.000m<sup>3</sup>/dia desse rio, para compensar os baixos volumes e, conforme a EMBASA, essa captação foi se ajustando de acordo com a disponibilidade da Barragem Água Fria II. Em maio/2017, essa contribuição já havia passado para 80% da vazão captada, ou seja, 28.000m<sup>3</sup>/dia de água captada vinham do Catolé.

Dentro da área das bacias há também uma outorga que demanda 1.746m<sup>3</sup>/dia, destinada à irrigação de uma área com plantio de café de 0,3km<sup>2</sup>, através de aspersão convencional, e localizada na Latitude 14°55'7,14"S e Longitude 40°34'56,97"W (INEMA, 2016). Avaliando imagens de satélite é possível observar que há várias pequenas barragens e, conforme informações da concessionária de abastecimento local, há também captações clandestinas dentro da bacia. Um volume extra de demanda que não há controle. O que pode ser verificado pelo grande número de pequenos barramentos que podem ser observados através de imagens de satélite (fig.11).

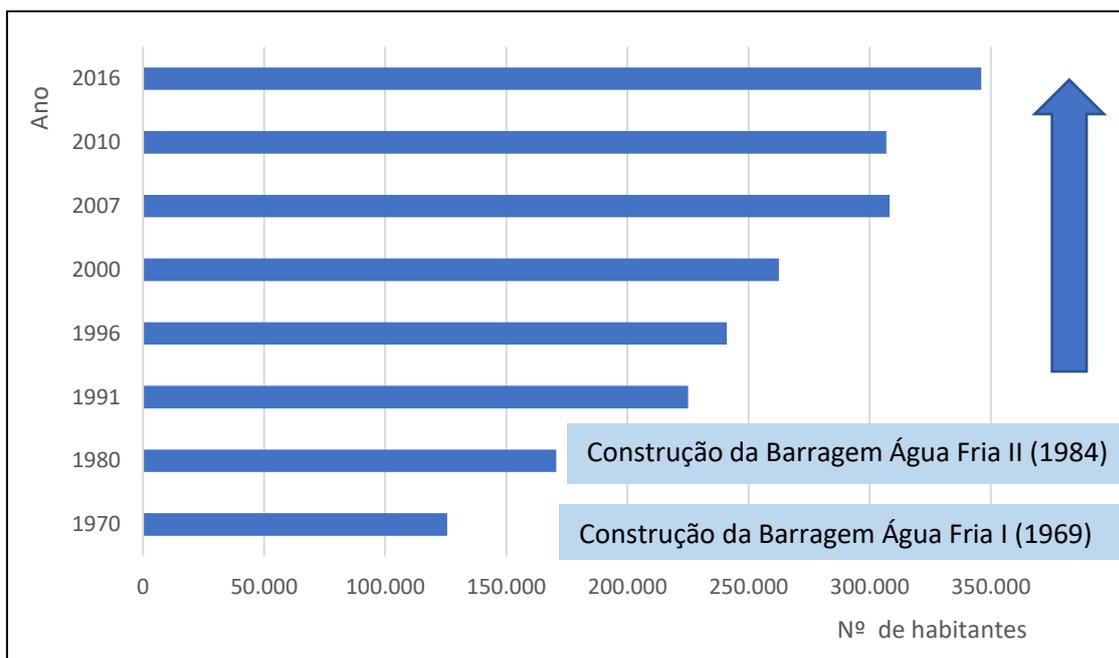


**Figura 11** - Barramentos na área das bacias dos rios Água Fria e Monos.

Foram contabilizados 32 barramentos na Bacia do Rio Água Fria e 22 na Bacia do Rio dos Monos. Totalizando 54 barragens construídas de forma irregular, sem critério técnico e legal.

Há ainda uma preocupação futura com relação ao crescimento populacional (fig.12), pois além da cidade estar aumentando progressivamente o número de moradores, ainda conta com uma população flutuante, devido à cidade ter se tornado polo comercial e educacional nos últimos anos.

Levando em consideração a capacidade de reserva da Barragem Água Fria II, o volume poderia atender ao abastecimento de Vitória da Conquista por 488 dias, captando o volume de outorga. Para atender ao volume de demanda calculado, o volume atenderia por 123 dias, aproximadamente quatro meses. Isso se os níveis da barragem chegassem ao máximo nos períodos chuvosos e não houvesse outros usos para essa água.

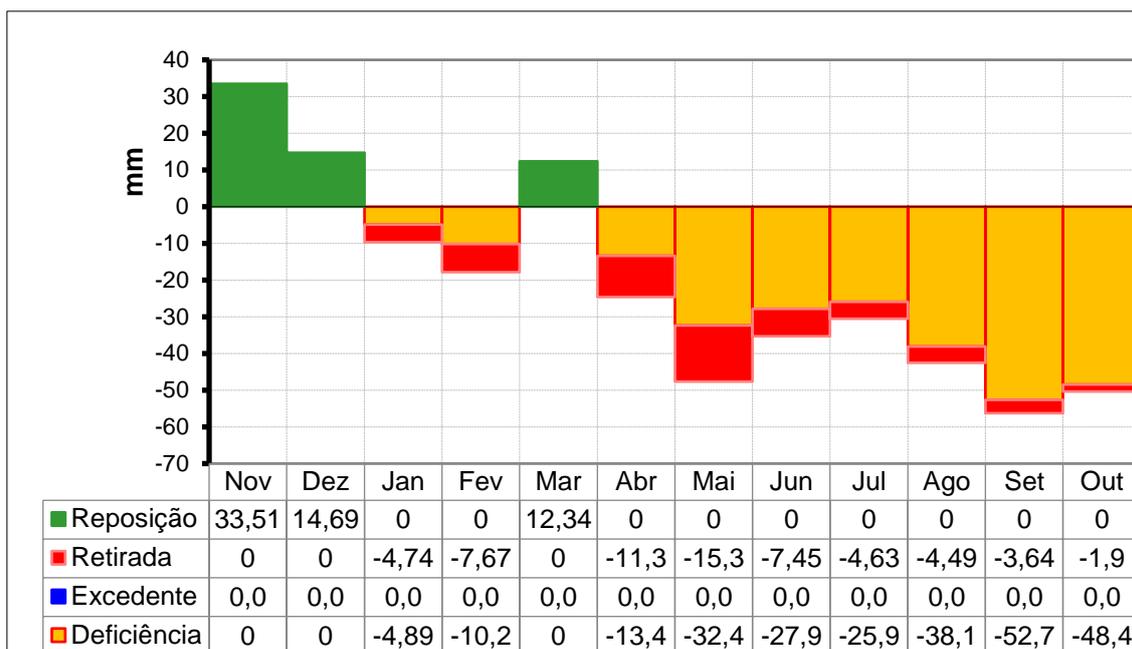


**Figura 12** - Aumento populacional em Vitória da Conquista.  
Fonte:(IBGE, 2016)

A primeira barragem foi construída em 1969 e a segunda 15 anos depois. Desde então a população da cidade praticamente dobrou, houve aumento no sistema de abastecimento, que integrou outras localidades, como Belo Campo e ampliou o atendimento da zona rural, conseqüentemente aumentou o consumo de água.

#### 4.5 Volume de água disponível

Para compreender se o volume de água retirado está dentro do potencial hídrico da barragem, é necessário apresentar os cálculos de Balanço Hídrico Climatológico. Ao aplicar o método de *Thornthwaite- Mather* foi gerado o gráfico de balanço hídrico normal, com dados dos últimos 23 anos (fig.13) que demonstra o quanto há deficiência de água nos meses de estiagem. Nos meses de março, novembro e dezembro há um saldo positivo entre as contribuições de chuvas em relação às retiradas naturais pela evapotranspiração, tendo água suficiente para reposição. No mês de janeiro, apesar dos volumes de chuva serem maiores, as temperaturas também são mais altas, e a evapotranspiração conseqüentemente é maior, apontando um déficit hídrico. O que o gráfico não apresenta é um volume excedente, demonstrando a fragilidade desse sistema na disponibilidade água.



**Figura 13** - Gráfico de balanço hídrico climatológico da região de Vitória da Conquista, avaliando o saldo entre as médias de precipitações e evapotranspiração do período entre 1994 e 2016.

Visualmente é possível verificar que o armazenamento de água no solo (ARM) é inferior a sua capacidade de armazenamento (CAD), enfatizado pela cor amarela, que indica a deficiência de água nesse sistema hídrico e que não há volumes excedentes. A cor azul não aparece, porque para haver excedente, é necessário que ocorra a reposição de água do solo e ARM seja igual a CAD. A cor vermelha indica que as precipitações são inferiores aos processos de evapotranspiração, assim, está ocorrendo a retirada de água do solo. Só há reposição quando não há retirada nem deficiência, nesse caso a evapotranspiração real é igual a potencial e a precipitação é maior do que zero (SENTELHAS, PEREIRA, *et al.*, 2017).

O gráfico de balanço hídrico normal utilizou valores médios e por isso os dados de excedentes hídricos foram neutralizados, mas podem ser observados no gráfico de balanço sequencial apresentado na Figura 14, que mostra o comportamento desses fenômenos nos últimos 23 anos.

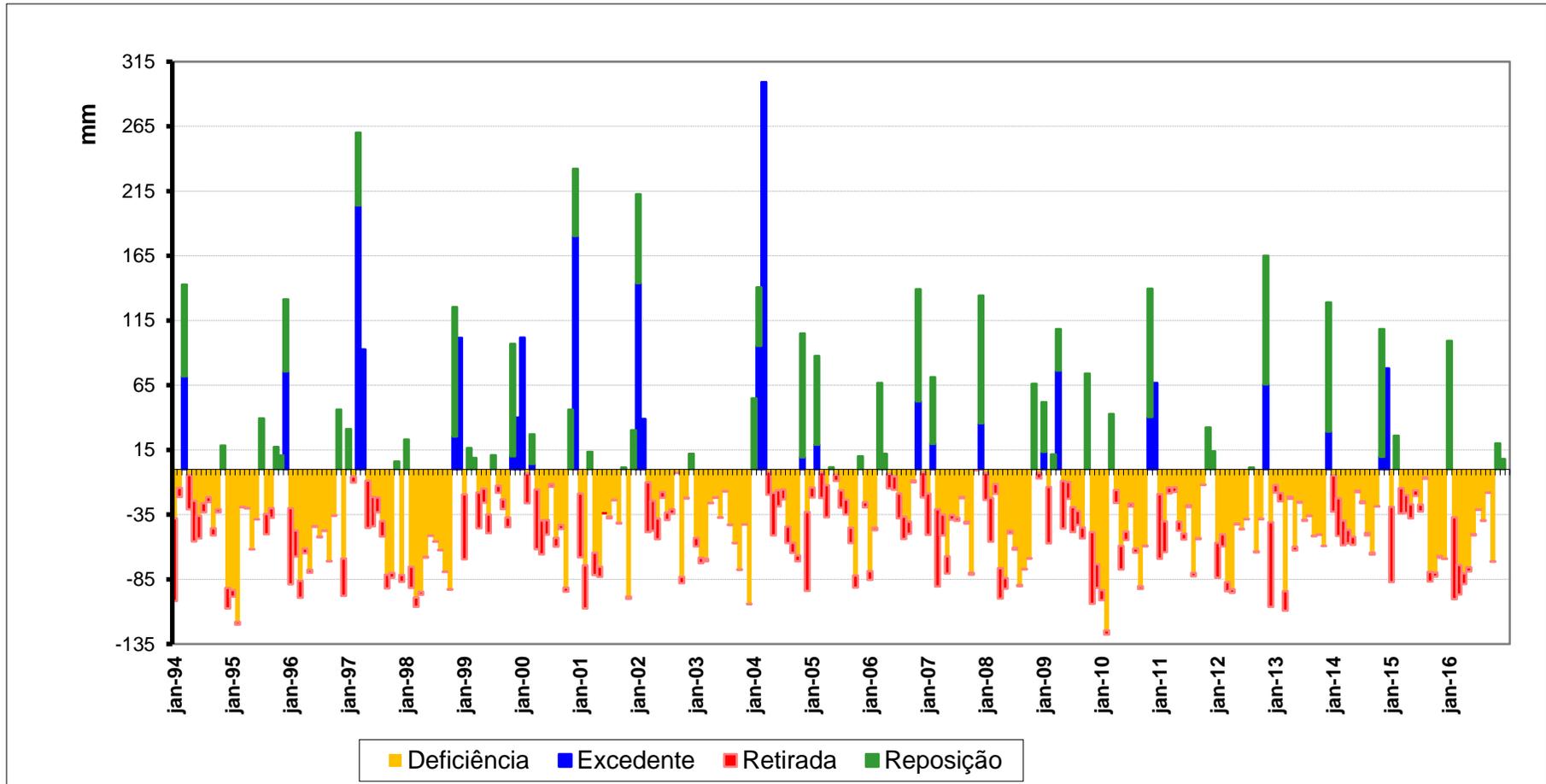
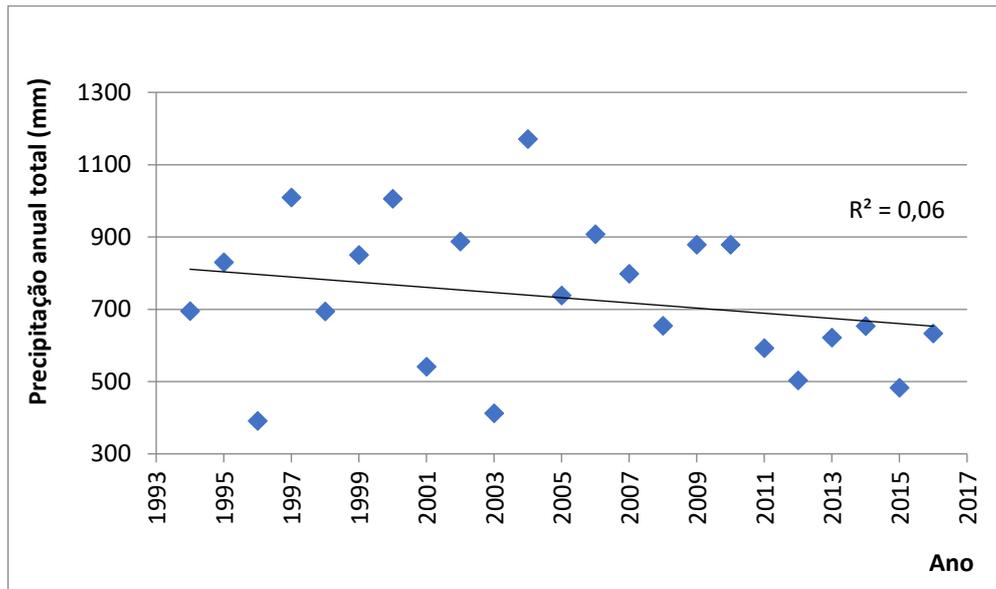


Figura 14: Gráfico de balanço hídrico climatológico sequencial da região de Vitória da Conquista, avaliando o saldo entre as precipitações e evapotranspiração mensal do período entre 1994 e 2016.

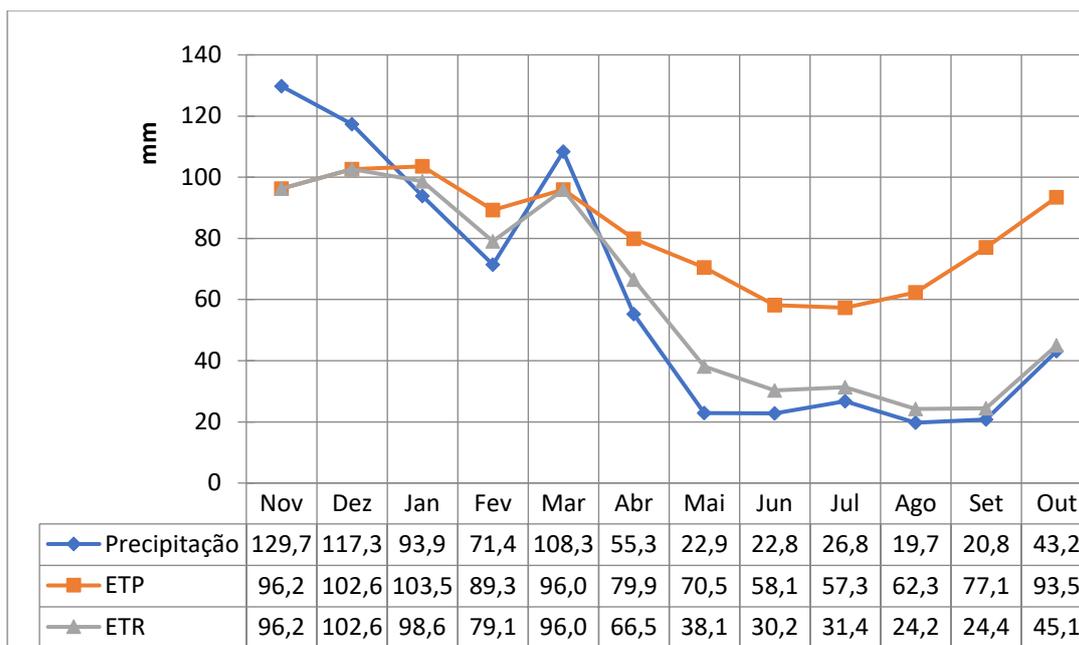
Visualmente a cor amarela demonstra que há uma redução da água armazenada no solo, o que caracteriza a alta deficiência, justificada pelas retiradas de água do solo, por evapotranspiração e pelos baixos volumes excedentes e de reposição, provenientes das precipitações. A partir de 2005 houve uma diminuição dos volumes excedentes (azul) e a partir de 2011 os volumes de reposição se tornaram mais esparsos (verdes). Isso poderia estar associado às baixas precipitações dos últimos anos, como se observa na Figura 15.



**Figura 15** - Distribuição das chuvas anuais totais em Vitória da Conquista de 1994 até 2016.

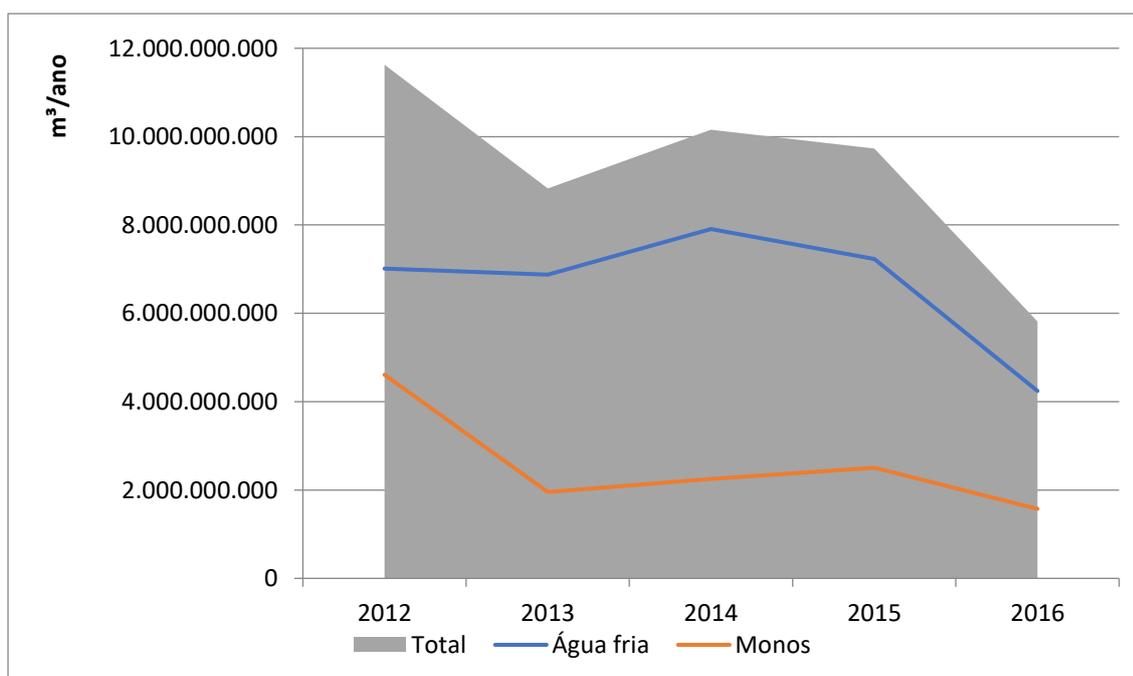
Pode ser observada uma tendência à redução dos volumes anuais precipitados, desde 1996. O coeficiente de significância de regressão  $R^2$ , indica que o fenômeno de redução das chuvas com o passar do tempo é explicado pelos dados plotados, apresentando 6% de significância. Talvez isso não signifique uma alteração climática considerável, mas uma fase cíclica do semiárido.

Na Figura 16 é representada a evapotranspiração potencial e real. Ao se tratar dos processos de evaporação locais pode se verificar que somente em novembro, dezembro e março as precipitações superaram a evapotranspiração.



**Figura 16** - Representação gráfica do balanço hídrico climatológico, plotando-se Precipitação, ETP (evapotranspiração potencial) e ETR (evapotranspiração real).

Foi verificado que os processos de evapotranspiração, ou seja, de saída de água do sistema hidrológico, superam a entrada de água através das precipitações. Isso pode afetar a vazão, o que pode ser verificado na Figura 17, onde se observa que em 2013 as vazões das sub-bacias do Rio Água Fria têm diminuído significativamente a contribuição para a barragem Água Fria II.

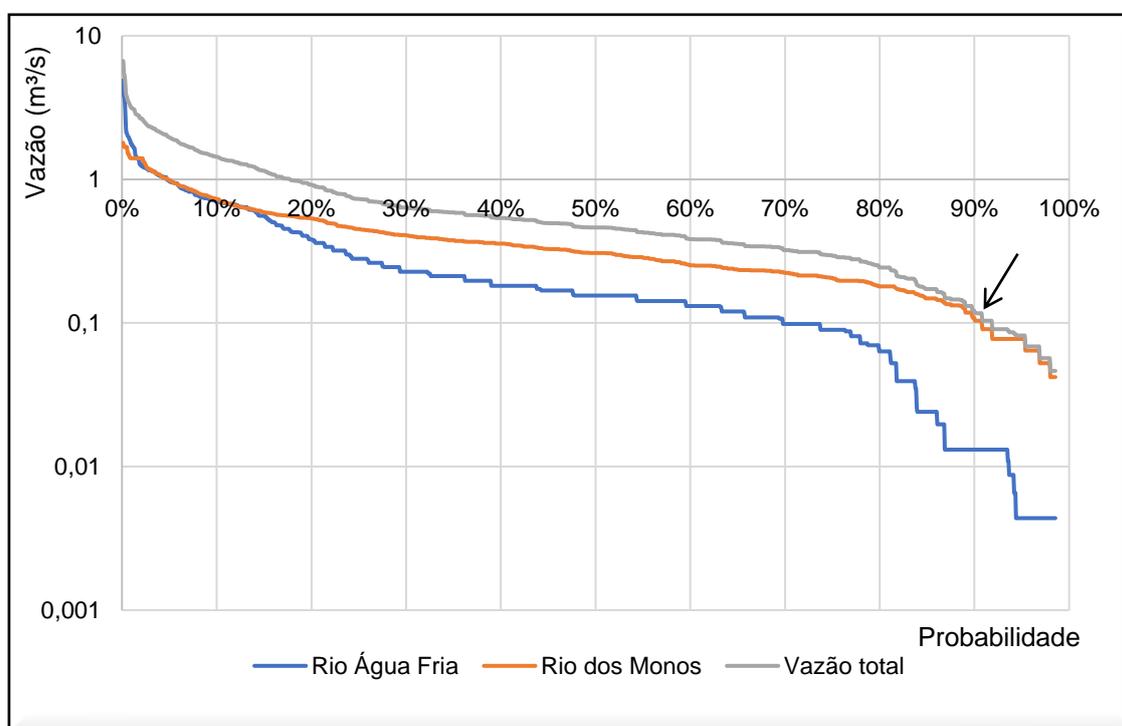


**Figura 17**- Distribuição das médias anuais das vazões dos rios Água Fria e Monos de 2012 a 2016. A área verde no fundo demonstra a soma das vazões médias anuais dos dois rios.

De 2012 para 2016 houve uma queda nas vazões de 0,7 para 0,1 m<sup>3</sup>/s. Isso demonstra que o sistema já foi capaz de produzir um volume em torno de 60.000 m<sup>3</sup>/dia, o necessário para o abastecimento, mas não o ideal para a captação já que o volume outorgado para captação é menor.

Os dados de vazões foram obtidos de estações fluviométricas localizadas no exutório das sub-bacias dos rios Água Fria e Monos, então foi necessário cálculo das vazões específicas de cada sub-bacia para depois estimar as vazões de toda a área de cada bacia.

Para verificar a probabilidade de ocorrer vazões de 0,7 m<sup>3</sup>/h, no período avaliado, foi elaborado o gráfico de permanência (fig.18), que apresenta as frequências em que ocorrem as vazões ao longo do tempo. Conforme os dados coletados, o gráfico demonstra que ao somar as vazões dos Rios Monos e Água Fria, a probabilidade de encontrar uma vazão de 0,1 m<sup>3</sup>/s é de 90% do tempo, ou seja, a vazão  $Q_{90}=0,10$  m<sup>3</sup>/s (apontada pela seta). A probabilidade de se obter uma vazão em torno 0,7m<sup>3</sup>/s é menor do que 30% do tempo (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).



**Figura 18** - Gráfico de permanência comparando as frequências das vazões dos rios Água Fria e Monos e o total das duas vazões.

Se for levado em consideração apenas o Rio Água Fria, a Vazão  $Q_{90}$  será aproximadamente  $0,01\text{m}^3/\text{s}$ . O Rio dos Monos contribui com vazões superiores, complementando com o  $Q_{90}=0,09\text{ m}^3/\text{s}$ .

A vazão dos rios principais que contribuem para a barragem de Água Fria II é muito inferior à necessária para o abastecimento confortável da população de Vitória da Conquista.

Para garantir que não existam interrupções no abastecimento existe um projeto para construção de uma nova barragem no Rio Catolé. Enquanto a obra não é realizada, água é captada do Rio Catolé, diretamente para a estação de tratamento de água, e foi divulgada em junho/ 2017 que será construída uma nova adutora no Rio Gaviãozinho, que garantirá 30% do abastecimento e terá a capacidade de  $0,2\text{m}^3/\text{s}$ .

## 5 CONCLUSÕES

Conforme os objetivos propostos, para a realização desse trabalho, foi avaliada a disponibilidade natural de água nas bacias que contribuem para a Barragem Água Fria I, através do estudo de balanço hídrico entre a oferta e a demanda de água nessa bacia. Os cálculos demonstraram que o volume de água precipitado não está sendo suficiente para que exista excedente de água, capaz de repor o que é consumido pela própria natureza nos processos de evapotranspiração e colaborar significativamente para o volume de água escoado para os rios.

As precipitações dos últimos anos indicam que há uma tendência de redução dos volumes precipitados, o que representa um fator significativo ao se tratar da falta de água, isso porque as barragens existentes estão subdimensionadas e a população dobrou desde a construção da barragem água Fria II.

No entanto, essa redução nos volumes de chuva é algo característico do semiárido e pode indicar apenas que é uma fase de escassez cíclica, que provavelmente aconteceu em outros períodos, irá passar, mas vai acontecer de novo. Apresentando a necessidade de gerenciamento desses recursos hídricos, para minimizar os impactos nesse período, em relação ao abastecimento, a irrigação e outros diversos usos que a água dessa bacia é aplicada.

O processo de evapotranspiração, que representa a saída de água do sistema, é maior do que os volumes precipitados, afetando a produção de água da bacia por redução do deflúvio. Também, indicando um fenômeno da característica cíclica do clima semiárido, mas que está sendo agravado pelo uso e a ocupação do solo na área da bacia, por afetar o ciclo hidrológico.

Pelo número de pequenos barramentos na área da bacia, indicando a presença de várias captações sem outorga de uso de água, é possível dizer que há retirada de um volume desconhecido nas barragens estudadas.

O estudo do Balanço Hídrico nessa área demonstrou que há um consumo maior de água do que é disponibilizado naturalmente, levando a necessidade de revitalização das zonas de recarga dessas bacias, para garantir que recuperem o potencial de produção de água, e de disciplinar seus usos evitando colapsos nos sistemas de abastecimento.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a revitalização da área da Bacia do Rio água Fria, pois, através dos tempos a paisagem da região de Barra do Choça foi alterada, interferindo na dinâmica hídrica dos ambientes, pelo mau uso e ocupação na área dessa bacia hidrográfica do Água Fria. Assim, as localidades que dependem do abastecimento, pelas barragens existentes, têm sofrido com o racionamento de água, devido aos baixos níveis.

O entorno das barragens é antropizado pelo desmatamento, para o plantio de café (principal atividade econômica local) e de pasto para a criação de gado. Até hoje a população utiliza a queimada para preparar o terreno nos períodos de plantio, esse tipo de manejo pode comprometer estrutura e a fertilidade do solo, além de interferir no ciclo da água.

O uso agrícola do solo pode contribuir com agrotóxicos (defensivos agrícolas). E os passos do gado nas áreas de pasto pode compactar o solo, reduzindo a capacidade de infiltração no solo, até o lençol freático. No entanto, o pasto ainda é um aliado na proteção do solo. Os processos erosivos na área da bacia são fatores que podem contribuir com o assoreamento dos rios contribuintes, reduzindo a profundidade das calhas, pelo carreamento de sedimentos. Esses detritos quando chegam na bacia de acumulação dos reservatórios reduz a vida útil dos barramentos, reduzindo a capacidade de abastecimento. É necessária a avaliação dos processos erosivos que ocorrem numa bacia, para que medidas preventivas sejam tomadas antes que as fontes de água sejam comprometidas (MINELLA e MERTEN, 2011).

Para conservar o solo é possível aplicar práticas conservacionistas, que aumentem a resistência do solo e diminuam as forças erosivas, que podem contribuir para o aumento dos lucros dos produtores. Elas podem ser vegetativas, edáficas e mecânicas (BERTONI e LOMBARDE NETO, 2014).

As primeiras são utilizadas para proteger o solo contra a erosão, que é menor quanto maior for a densidade da cobertura vegetal. São exemplos: o florestamento e reflorestamento, criação de pastagens, cobertura do solo por plantas, cultura em faixas, cordões de vegetação permanente alternância de capinas, ceifa do mato, cobertura morta, faixas de bordadura e quebra-ventos.

As práticas edáficas são aquelas que modificam o sistema de cultivo para controlar a erosão e manter a fertilidade do solo. É feita ao controlar o fogo utilizado para limpar terrenos, quando não há outra opção, fazendo a adubação verde, química, orgânica e a calagem do solo. Por último, podem ser citadas as práticas mecânicas, que utilizam estruturas artificiais para quebrar a velocidade de escoamento da enxurrada, facilitando a infiltração da água no solo, de acordo com as características morfométricas da bacia, como o plantio em contorno e o terraceamento.

Cada uma dessas práticas tem uma aplicabilidade e devem ser planejadas para cada situação, podendo ser utilizadas de forma conjunta, de acordo com a necessidade do local.

Também é importante para o manejo adequado do solo, que seja feito o controle de voçorocas, da erosão eólica. Na produção agrícola é bom para manter a qualidade do solo quando se pode fazer a rotação de culturas, preparar o solo, para que o solo mantenha seu potencial de produção. A quebra do subsolo, subsolagem, para aumentar a infiltração de água é uma prática recomendada porque melhora a condição física do solo, diminuindo perdas que se contrapõe ao plantio direto, onde o solo não é preparado por aração, para não revolver partículas, facilitando o carreamento pela enxurrada (BERTONI e LOMBARDE NETO, 1990).

Para revitalizar uma bacia é necessário caracterizar os processos de funcionamento do ciclo hídrico na localidade a ser estudada e saber quais as possibilidades de intervenções. Uma bacia revitalizada deve readquirir a capacidade de infiltração através da recuperação do solo (MACHADO, 2008).

Com base no exposto e levando em consideração que o estudo de balanço hídrico, na Bacia do Rio Água Fria, demonstrou a necessidade de intervenções para revitalização, algumas etapas devem suceder a pesquisa já realizada, como sugestão:

- a) Cadastramento das propriedades rurais e das captações existentes;
- b) Orientação técnica dos proprietários para a solicitarem a outorga de uso de água do INEMA;
- c) Orientação técnica para os produtores agrícolas e pecuaristas, quanto ao manejo adequados da sua produção, para racionalizar o uso da água de forma eficiente e conservacionista, principalmente ao se tratar de irrigação;

- d) Buscar junto aos gestores locais, a ativação do Comitê de Bacias local e o apoio técnico da AGERSA;
- e) Implementar o Plano de Bacias, para garantir o uso eficiente da água, a redução de perdas;
- f) Buscar alternativas de como reduzir as demandas de água na Bacia e outras fontes.
- g) Manter o balanço hídrico sempre atualizado e utilize-lo como um dos parâmetros para disciplinar o uso da bacia;
- h) Elaborar um banco de dados quantitativos e qualitativos das bacias, para servir para estudos posteriores e como um histórico que facilite a compreensão de como oscilam os ciclos climáticos, característicos do semiárido na região.
- i) Buscar parceria com a concessionária de abastecimento, a EMBASA, para implementar projetos de Educação Ambiental e Pagamento por Serviços Ambientais- PSA, na área da bacia;
- j) Buscar junto a Agência Nacional de Águas a manutenção e atualização dos dados fluviométricos e pluviométricos, essenciais para os cálculos de balanço hídrico, que deveram ser disponibilizados ao público;
- k) Elaboração e execução de um Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), voltado para a recuperação da mata ciliar na área da bacia e criação de corredores ecológicos;
- l) Verificar se a água de poço utilizada no distrito industrial pertence a bacia do Rio Água Fria e como pode influenciar nas suas vazões.
- m) Aplicar os instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos previstos na PERH.

A gestão da bacia deve ser integrada e participativa, principalmente porque o homem faz parte do meio ambiente e deve estar consciente disso, pois suas necessidades de sobrevivência dependem da natureza e dos diversos usos da água. Conservar o meio ambiente em meio a essa e demanda, significa promover desenvolvimento de forma sustentável, mas isso depende de ações que exigem racionalidade, que é uma característica do ser humano que ele insiste em burlar, para satisfazer seus desejos momentâneos. A mudança de atitude deve acontecer de forma coletiva, pois o futuro da água não pertence a um único indivíduo, se trata de um bem comum.

## REFERÊNCIAS

AGEVAP. Avaliação de impactos de novas transposições de vazão no rio Paraíba do Sul. Demandas de uso da água consuntivos e não consuntivos., 2013. Disponível em: <<http://ceivap.org.br/conteudo/r4-demandas-de-uso-versao-final.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2017.

ANA. **Caderno de Recursos Hídricos. Disponibilidade e demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

ANA. **Aspectos legais e institucionais da gestão de recursos hídricos. Curso de especialização a distância em elaboração e gerenciamento de projetos para gestão de recursos hídricos**. Fortaleza: IFCE, 2015.

ANA. **Cursos de especialização a distância em elaboração de projetos para gestão de recursos hídricos. Princípios de Hidrologia**. Fortaleza: [s.n.], 2015.

ANA. Atlas de abastecimento., 2017. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?mun=2238&mapa=plan>>. Acesso em: 27 fev 2017.

BAHIA. **Portaria 246/04 DG. De 26 de março de 2004. Ano LXXXVIII. nº 18519**. Salvador: DOE, 2004.

BAHIA. **Lei 11.612 de 08 de outubro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos**. Salvador: [s.n.], 2009.

BAHIA. Lei nº 12.212, de 4 de maio de 2011. Modifica a estrutura organizacional e de cargos em comissão administrativa pública do poder executivo estadual. **SEIA**, 4 Maio 2011. Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/legislacao-ambiental/leis/lei-n-12212>>. Acesso em: 28 Fev 2017.

BAHIA. **Lei nº13.223 de 12 de janeiro de 2015. Institui a política estadual de pagamento por serviços ambientais do estado**. Salvador: [s.n.], 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDE NETO, F. **Conservação de solo**. 9. ed. São paulo: Icone, 2014.

BRASIL. **Lei 9.433, Daneiro de 8 de1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: [s.n.], 1997.

BRASIL. **Lei nº 9.422, de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos e cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: DOU, 1997.

BRITO, L. T. D. L.; MOURA, M. S. B. D.; GAMA , G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa, 2007.

CNERH. **Resolução nº 01 de 22 de março de 2005. Aprova o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia.** Salvador: [s.n.], 2005.

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

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais.** 2ed. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.

EMBASA. Notícias, 2017. Disponível em:  
<<http://www.embasa.ba.gov.br/content/embasa-apresenta-projeto-e-a%C3%A7%C3%B5es-de-sustenta%C3%A7%C3%A3o-da-obra-da-barragem-do-catol%C3%A9>>. Acesso em: 27 Fev 2017.

IBGE. **Pesquisa nacional do saneamento básico 2008.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2010. Disponível em:  
<[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096\\_glossario equipetec.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_glossario equipetec.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**, 12 Setembro 2016. Disponível em:  
<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=293330&search=bahia|vitoria-da-conquista>>. Acesso em: 15 Setembro 2016.

INEMA. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2016. Disponível em:  
<<http://www.inema.ba.gov.br/>>. Acesso em: 15 Setembro 2016.

INEMA. **Nota técnica nº73/2016. Usuários de Recursos hídricos com finalidade de irrigação na cidade de Barra do Choça.** Salvador: [s.n.], 2016.

INEMA. Bacias hidrográficas, 2017. Disponível em:  
<<http://www.inema.ba.gov.br/bacias-hidrograficas/>>. Acesso em: 11 Abril 2017.

INEMA. Inventário das Barragens., 16 Jan. 2017. Disponível em:  
<<http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/barragensreservatorios/>>. Acesso em: 23 Fev. 2017.

INMET. [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). **Dados históricos**, 2016. Disponível em:  
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 10 outubro 2016.

LIMA, W. D. P. **Hidrologia Florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** 2. ed. Piracicaba: USP, 2008.

LIMA, W. D. P. **A silvicultura e a água. Ciência, dogmas, desafios.** Rio de Janeiro: Instituto Bioatlântica, v. 1, 2010. 64 p.

MACHADO, A. T. D. M. A construção de um programa de revitalização da Bacia do Rio São Francisco. **SciELO**, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200013&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200013&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 7 Maio 2017.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 424-432, mar 2011. ISSN 3.

OLIVEIRA, J. T. Bacia de Captação da barragem Água Fria II em Barra do Choça/BA: evolução do uso da terra e modificações nos solos sob diferentes manejos. **Teses de Mestrado**, Ilhéus, 2006. Disponível em: <[http://www.uesc.br/cursos/pos\\_graduacao/mestrado/mdrma/teses/dissertacao\\_jacson\\_tavares.pdf](http://www.uesc.br/cursos/pos_graduacao/mestrado/mdrma/teses/dissertacao_jacson_tavares.pdf)>. Acesso em: 12 Agosto 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia. Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERE, V. Panilhas no ambiente Excel™, para os cálculos de balanços hídricos : norma, sequencial, de cultura e produtividade real e potencial.. **Revista brasileira de agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, p. 133-137, 1998. ISSN 1.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2002.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de Bacias- Teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002. 293 p. ISBN 857-7455-053-1.

SENTELHAS, C. et al. **Balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETO, O. D. M. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VITÓRIA DA CONQUISTA. **Lei 547 de 1990. Cria o Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente- CODEMA**. Vitória da Conquista: [s.n.], 1990.

VITÓRIA DA CONQUISTA. **Lei Orgânica do Município, nº528/90**. Vitória da Conquista: [s.n.], 1990.

VITÓRIA DA CONQUISTA. **Lei nº 1.085 de 28 de dezembro de 2001. Cria o Conselho Municipal de Meio Ambiente**. Vitória da Conquista: [s.n.], 2001.

**ZAKIA, M. J. B. Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental. Implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas. São Carlos: EESC-USP, 1998.**