



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

**BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA  
APÓS A CHEGADA DAS ÁGUAS DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO  
SÃO FRANCISCO**

**GUSTAVO ALVES DE CARVALHO**

**Campina Grande-PB  
Julho 2019**

**GUSTAVO ALVES DE CARVALHO**

**BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA  
APÓS A CHEGADA DAS ÁGUAS DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO  
SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Campina Grande como requisito para  
obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Márcia Maria Rios Ribeiro  
Coorientadora: MSc. Tereza Helena Costa Nunes

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2019**

**GUSTAVO ALVES DE CARVALHO**

**BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA  
APÓS A CHEGADA DAS ÁGUAS DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO  
SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para encerramento da componente curricular e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

GUSTAVO ALVES DE CARVALHO

**BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA  
APÓS A CHEGADA DAS ÁGUAS DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO  
SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para encerramento da componente curricular e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Aprovado em: 05 de Julho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

<u>Márcia Maria Rios Ribeiro</u>	Nota <u>8,9</u>
<b>Profª. Drª Márcia Maria Rios Ribeiro</b> (Orientadora – Universidade Federal de Campina Grande)	
<u>Tereza Helena Costa Nunes</u>	Nota <u>9,2</u>
<b>MSc. Tereza Helena Costa Nunes</b> (Co-orientadora – Universidade Federal de Campina Grande)	
<u>Carlos de Oliveira Galvão</u>	Nota <u>9,2</u>
<b>Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão</b> (Examinador Interno – Universidade Federal de Campina Grande)	
<u>Jabes Melquíades de Araújo</u>	Nota <u>9,7</u>
<b>Jabes Melquíades de Araújo</b> (Examinador Externo – Universidade Federal de Campina Grande)	

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, primordialmente, por ter me permitido chegar até essa fase da vida. E a todos os meus familiares e amigos, em especial à minha mãe, Graça, por ser tão presente, apesar de toda a distância e sempre me apoiar, sendo uma verdadeira guerreira.

Também às pessoas que me ajudaram desde o começo com este trabalho, a minha orientadora, professora Márcia, por todo o conhecimento e exemplo passado. E coorientadora, Tereza, por todo empenho e prestatividade. Deixo o meu 'muito obrigado' a ambas. Sou grato, ainda, a André Veloso, agente da AESA, que mostrou prontidão, sempre que pôde, em esclarecer diversas dúvidas sobre dados necessários ao trabalho.

## DEDICATÓRIA

A minha família, especialmente à minha mãe,  
amigos e irmãos, por todas as palavras de apoio e  
encorajamento, DEDICO.

## EPÍGRAFE

“Porque dele, e por meio dele, e para ele são todas as coisas. A ele, pois, a glória eternamente  $\alpha!$ ”

## RESUMO

A água é um recurso essencial para a vida, no entanto, o crescente aumento pela demanda, aliado à escassez em algumas regiões, acabam por gerar conflitos entre os usuários deste bem. Para mitigar ou até mesmo resolver essas questões na prática a aplicação de uma boa gestão dos recursos hídricos disponíveis. Na ferramenta de grande utilidade para auxiliar na gestão de recursos hídricos é o balanço hídrico, que considera todas as entradas e saídas de um sistema em análise. O presente trabalho analisou a alteração no balanço do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão) após o recebimento de vazões afluentes do Projeto de Integração do rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), maior obra de infraestrutura hídrica do País. Para isso foi utilizada como ferramenta a planilha Hidro. Essa planilha é capaz de realizar, computacionalmente, o balanço hídrico através da inserção de dados do reservatório em questão. Esse reservatório se encontra localizado no semiárido brasileiro, sendo de grande importância uma vez que atende a uma população de mais de meio milhão de pessoas, cujo núcleo é representado pela cidade de Campina Grande - PB. As simulações realizadas não só observaram como seria um provável comportamento e impacto trazido pelo projeto às configurações hídricas da região, como também possibilitaram a geração de uma nova curva de garantia para o reservatório em estudo. Esta curva forneceu vazões e suas respectivas garantias de utilização, inclusive a vazão regularizável, possibilitando um conhecimento de fundamental importância para a tomada de decisões. Considerando a situação na qual chegou o armazenamento de água no reservatório Epitácio Pessoa, verifica-se a importância do projeto de transposição do rio São Francisco para toda a população e cidades da região.

**Palavras-chave:** Balanço hídrico, Curva de garantia, simulação, vazões, reservatório.

## ABSTRACT

Water is an essential resource for life, however, the increase in demand coupled with scarcity, in some regions, end up generating conflicts among many users. In order to mitigate and even solve these issues, the application of good management of the available water resources have to be practiced. An useful tool to assist in the management of water resources is the water balance, which considers all variables that comes in and comes out of the system being analyzed. The present research has analyzed the alteration in the water balance of the Epitácio Pessoa reservoir (Boqueirão) after receiving flows from the Integration Project of the São Francisco River with the Hydrographic Basins of the Northern of the Northeast (PISF), the largest hydroelectric infrastructure in Brazil. It was used Hidro spreadsheet tool which is capable to perform the water balance, computationally, through the insertion of all the informations obtained from the reservoir. This reservoir is located in the Brazilian semi-arid region, being of great importance due to it supplies a population larger than half million people, whose nucleus is represented by the city of Campina Grande - PB. The simulations carried out not only observed the probable behavior and impact brought by the project to the water configurations of the region, but also they allowed the generation of a new guarantee curve for the reservoir under study. This curve has provided flows and their respective guarantees of use, including the regularized flow, which allows a knowledge of fundamental importance for decision making. Considering the situation in which the water storage in the Epitácio Pessoa reservoir arrived, the importance of the project of transposition of the São Francisco river for all the population and cities of the region is verified.

**Keywords:** Water balance, Warranty curve, simulation, flows, reservoir.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico (com abreviações).....	9
Figura 2 – Esquematização do balanço hídrico em um reservatório.....	11
Figura 3 – Níveis de alerta de um reservatório.....	17
Figura 4 – Localização do reservatório Epitácio Pessoa.....	19
Figura 5 – Localização dos Eixos do Projeto de integração do Rio São Francisco...21	
Figura 6 – Postos fluviométricos do projeto de integração do Rio São Francisco.....	21

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de vazão no posto de Monteiro .....	23
Tabela 2 - Valores de vazão no posto do Sítio Porteiras .....	24
Tabela 3 - Afluentes mensais calculados a partir dos dados de vazão. ....	25
Tabela 4 - Volumes reais do reservatório no período em estudo .....	26

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Vazões no posto solicitado .....	22
Gráfico 2 - Comparação do volume real e volume sem afluências do reservatório...	27
Gráfico 3 - Comparação do volume real e volume com afluências do reservatório...	28
Gráfico 4 - Curva de garantia com afluências obtidas .....	30

## LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas no Estado da Paraíba

ANA – Agência Nacional de Águas

CAGEPA – Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INSA – Instituto Nacional do Semiárido

MI – Ministério da Integração Nacional

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PISF – Projeto de Integração do rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

SEMARH – Secretaria de Meio Ambiente Recursos Hídricos

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Justificativa .....	3
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	Objetivo Geral .....	4
1.2.2	Objetivos Específicos .....	4
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Recursos Hídricos e sua Gestão .....	5
2.2	Ciclo Hidrológico e o Balanço Hídrico .....	9
2.3	Operação de Reservatórios.....	12
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
3.1	Área de estudo .....	18
3.1.1	Projeto de Transposição do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF).....	20
3.2	Tratamento dos dados obtidos .....	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
4.1	Simulação do Balanço Hídrico com a planilha Hidro.....	26
4.2	Obtenção da nova curva de garantia.....	29
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Como é sabido, a água é um recurso essencial para a manutenção da vida no planeta. A crescente demanda desse bem tem gerado conflitos e problemas, sendo estes agravados pela escassez de água de boa qualidade em algumas regiões, consequência da má utilização. A disputa pelos recursos hídricos pode ocorrer pelo grande crescimento populacional em áreas urbanas, rivalizando o uso da água com indústrias e/ ou agricultura. Esses problemas podem ser mitigados ou até mesmo sanados pela aplicação de uma boa gestão dos recursos hídricos disponíveis.

A problemática da escassez hídrica no Brasil, relacionada ao saneamento ambiental no país, pode ser analisada segundo o Atlas do Saneamento, publicado em outubro de 2011 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que traz, entre outros dados, que o abastecimento de água é completamente comprometido em função da deterioração dos corpos hídricos, bem como a maior utilização para processos industriais ou da agropecuária, agravado pelo aumento da população e de seu consequente uso.

No que diz respeito à gestão dos recursos hídricos, a atual legislação brasileira, representada principalmente pela Lei Nº 9.433 de Janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) prevê a participação de diferentes grupos na tomada de decisão quanto ao uso da água. Por meio de Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs), integrantes dos Sistemas Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos podem definir pautas guiadas pelo uso múltiplo e racional das águas. Um melhor entendimento dos processos de gestão, que implicam escolhas coletivas, pode gerar maiores benefícios aos usuários dos recursos hídricos e à sociedade em geral (MARABESI, 2012).

Segundo Ramos (2007), por suas dimensões continentais e diversidade geográfica, o Brasil apresenta situações bastante distintas quanto à disponibilidade hídrica, intra e inter-regionais. Como exemplo dessa diversidade tem-se a região semiárida brasileira, que é uma das áreas mais atingidas pela escassez hídrica, tendo esse destaque devido as suas condições climáticas de semiaridez e também pela

degradação dos recursos hídricos, causada pela ação antrópica. O mau uso dos recursos naturais, aliado à carência hídrica e à falta de políticas públicas fazem do semiárido uma região pouco desenvolvida em relação às demais regiões do Brasil (BATISTA, 2014).

Para minimizar a degradação e lidar com a escassez de água no semiárido brasileiro, a Gestão dos Recursos Hídricos deve estabelecer critérios para o uso sustentável da água, garantindo a perenidade em seu acesso para as presentes e futuras gerações (DANTAS, 2013). As demandas de água em bacias que têm variabilidade hidrológica alta, muitas vezes são atendidas por reservatórios plurianuais. Esses mananciais são reservas hídricas ou fontes que devem garantir a quantidade e qualidade (disponibilidade) de água, de acordo com a finalidade. O manancial superficial mais comum no Nordeste, bem como na região semiárida, é o açude, que é o conjunto constituído por barragem ou barramento de um curso d'água e o respectivo reservatório ou lago formado (SEMARH/SE, 2017).

Para preservar ao máximo a água disponível, é necessária uma boa operação dos reservatórios, uma vez que, quando bem executada, compatibilizando adequadamente oferta e demanda de água, evita ou atenua conflitos (NUNES, 2015). Uma das metodologias que pode ser usada para estudar a operação de reservatórios de água é o balanço hídrico, que considera todas as entradas e saídas do sistema em análise, como será apresentado neste trabalho.

## 1.1 Justificativa

O Projeto de Integração do rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) é a maior obra de infraestrutura hídrica do País (MI, 2018). A mesma altera os estudos hidrológicos de todas as bacias hidrográficas que contempla. Dentre estas se encontra a bacia hidrográfica do rio Paraíba, onde está inserido o reservatório Eptácio Pessoa, que passou a ser atendido através das obras do eixo leste da transposição. Este reservatório é de grande importância, uma vez que atende a uma população maior que meio milhão de pessoas, cujo núcleo é representado pela cidade de Campina Grande, um polo do interior do estado com alta relevância tanto no aspecto político quanto econômico e social.

Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de novos estudos hidrológicos acerca do reservatório supracitado, justificando, dessa forma, a realização deste trabalho, que visa colaborar no conhecimento e atualização do balanço hídrico do reservatório em questão.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo principal analisar a alteração no balanço hídrico do reservatório Epitácio Pessoa após a chegada das águas da transposição do Rio São Francisco.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Analisar as simulações do balanço hídrico com as vazões de entrada da transposição no reservatório em estudo;
- ✓ Analisar as influências e impactos trazidos pelo projeto da transposição ao reservatório em estudo;
- ✓ Gerar uma nova curva de garantia para o reservatório em estudo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Recursos Hídricos e sua Gestão

Sabe-se que a falta de água é uma realidade em muitas regiões do mundo. Aproximadamente meio bilhão de pessoas vivem em países com escassez crônica deste recurso. Há estimativas de que por volta do ano 2050, mais de quatro bilhões de pessoas — mais da metade da população mundial — sofrerão deste problema. A carência de água é a principal barreira ao desenvolvimento e uma das razões primordiais que impedem a diminuição da pobreza (CLARKE; KING, 2005).

A água é essencial para diversos fins, destacando-se o abastecimento humano, a aplicação no meio agrícola, produção industrial e energética, meio de transporte, tanto de cargas quanto de pessoas, atividades recreativas, além de constituir a fonte primordial para o habitat aquático e a manutenção da vida selvagem.

Os recursos hídricos têm atendido a população, ainda, como local para despejo de resíduos das mais diversas origens, o que tem comprometido a sua qualidade. A diminuição da quantidade e a degradação da qualidade da água afeta a saúde e a vida de uma maneira geral dos que fazem uso desta, além de afetar o equilíbrio ambiental local. Existe ainda a beleza de um ambiente aquático, o que torna as proximidades de rios, mares e outros corpos d'água, lugares atrativos para se construir estabelecimentos para lazer, comércio e até moradias. Assim, quando bem administrados, estes recursos podem continuar oferecendo muitas benesses, tanto em aspectos econômicos como sociais e ambientais, a todos os que deles usufruem (NUNES, 2015).

Diante de situações de escassez de um recurso tão importante, independente de sua origem (superficial ou subterrânea), a melhor solução para lidar com estes problemas é uma boa gestão dos recursos hídricos, permitindo otimizar o uso da água. Este recurso natural necessita de cuidados para que possa perdurar para as gerações futuras. Sendo usado desordenada e inconsequentemente não atingirá tal objetivo.

Juridicamente, a gestão de recursos hídricos no Brasil tem longa duração. O Código de Águas, primeira iniciativa governamental de resguardar as águas brasileiras, data de 10 de julho de 1934 (Decreto 24643, com força de lei). Ele dividia

as águas em três classes, abordadas cada uma em capítulos diferentes: águas públicas de uso comum ou dominicais no capítulo I, águas comuns no capítulo II e águas particulares no capítulo III. Partilhou ainda as águas públicas entre União, estados e municípios, de acordo com a distribuição espacial que os corpos d'água apresentavam, em relativa desconformidade com o que é consensual hoje (MIRANDA, 2010).

As Constituições de 1934 e 1937 reiteraram os dispostos no Código de Águas. Uma singularidade estava, todavia, na questão da propriedade dos particulares que, segundo Campos (2007), incidia sobre nascentes e águas em terrenos que os pertencessem, ressalvadas as que não estavam classificadas como dominicais e comuns. Para que não haja conflito semântico, deve-se estar claro que eram tidas no período como águas públicas aquelas passíveis de navegação, sendo as demais [sem dono] comuns. Apesar de ser um marco e ter perdurado por tanto tempo, o Código não se figurou eficiente, nunca tendo sido implementado em sua totalidade, mesmo sendo simplório, ficando suprimido pela Lei 9.433/97, que retifica o domínio sobre as águas, tratando-as como bem de domínio público (JACOMINO, 2003 apud MIRANDA, 2010).

Mesmo com algumas medidas no meio jurídico dos estados e municípios, pode-se dizer que a impulsão definitiva na realidade brasileira de gestão de recursos hídricos se deu na Constituição Federal de 1988. A Lei Fundamental mostra a preocupação do legislador em incluir na política nacional essa temática específica dentro das matérias ambientais, justificada pela inserção na Carta Magna do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Essa inclusão na CF repercutiu positivamente e influenciou tudo o que viria depois em termos de recursos hídricos no Brasil (ANA, 2002).

É a partir do art. 21, XIX da Constituição de 88 que o Brasil atinge patamar nunca observado no país em toda a evolução da gestão dos recursos hídricos (e, de certa forma, das questões ambientais). Nele consta que “compete à União instituir Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direito de uso...” (CF 1988, artigo 21, XIX). Em 12 estados e no Distrito Federal as Constituições Estaduais do ano seguinte incluíram a previsão de sistemas de gerenciamento de recursos hídricos. Os artigos 20, III e VIII e 26, I da Constituição delimitam de maneira bem mais detalhada que o Código de Águas, os bens de

domínio da União, citando entre outros “os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham”, além dos “potenciais de energia elétrica”, restando como bens dos estados as “águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes ou em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União” (CF 1988, artigo 20, III, VIII e 26, I) (MIRANDA, 2010).

Em sequência cronológica, como uma regulamentação do artigo 21 da Constituição, tem-se a aprovação da lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997, a conhecida Lei das Águas. Esta lei institui a política nacional de recursos hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). A nível nacional, o órgão governamental de maior importância que desempenha o papel de rede gestora é a ANA – Agência Nacional de Águas, criada pela lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000, sendo vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) e subordinada às diretrizes, objetivos e instrumentos da nova política criada através da Lei 9.433/97. Entre as atribuições da ANA estão o poder de outorga e de fiscalização das águas de domínio da União.

A Política Nacional de Recursos Hídricos fundamenta-se pelas seguintes bases em seu artigo 1º da Lei das Águas 9.433/97:

- I - a água é um bem de domínio público;
- II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- 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 a implementação da PNRH e atuação do SINGREH;
- VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Já no artigo 2º trata dos objetivos da Política Nacional dos Recursos Hídricos, o 3º artigo fala sobre as diretrizes gerais de ação para sua implementação, o 5º artigo trata dos instrumentos da política, e todos os demais artigos abordam temas como os planos de recursos hídricos, o enquadramento em classes dos corpos de água, a outorga e cobrança, e muitos outros aspectos até as disposições gerais e transitórias da lei (BRASIL, 1997).

Em relação aos Planos de Recursos Hídricos, estes são planos diretores cujo objetivo é fundamentar e orientar a implantação da PNRH, logo, o gerenciamento dos recursos hídricos. Estes Planos caracterizam-se por serem planos de longo prazo e devem ter o seguinte conteúdo mínimo:

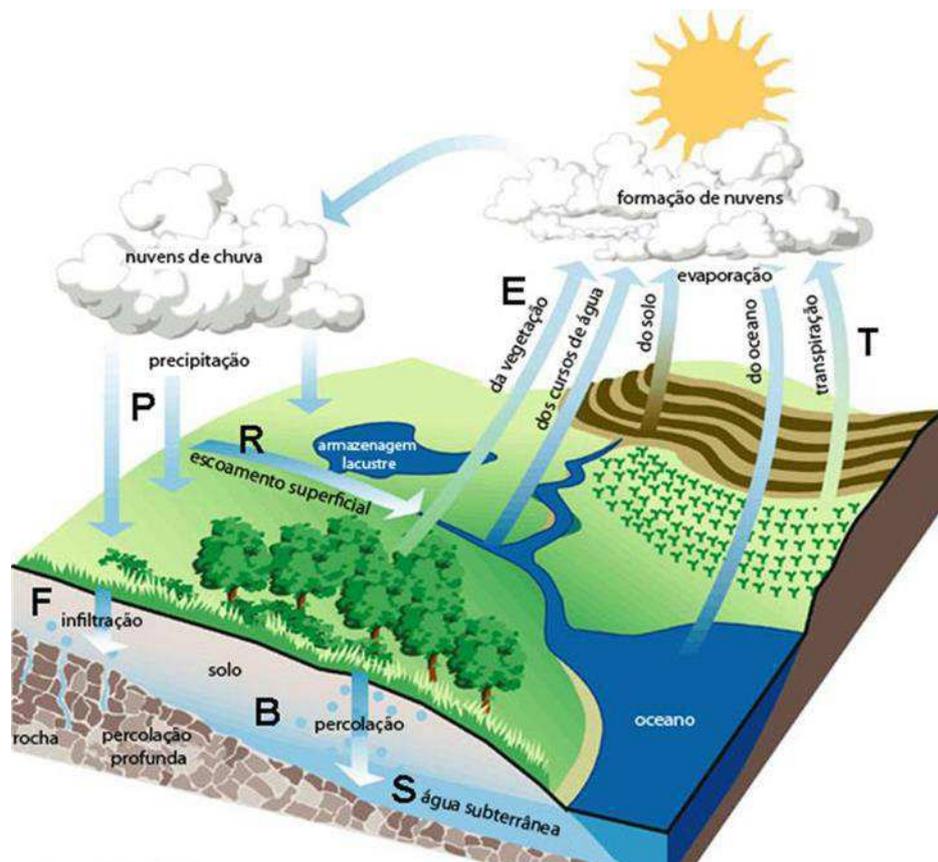
- a) diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos;
- b) análise das alternativas de crescimento demográfico, de evolução das atividades produtivas e da modificação dos padrões de ocupação do solo;
- c) balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais;
- d) metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis;
- e) medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados para o atendimento de metas previstas;
- f) prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos;
- g) diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- h) propostas para a criação de áreas sujeitas à restrição de uso com vistas à proteção dos recursos hídricos.

Os planos poderão ser criados em nível local, regional e nacional (PEREIRA, 2011). Segundo Nunes (2015), no âmbito estadual, a Lei nº 6.308 de 02 de julho de 1996, que Instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba, visando o “uso racional destes recursos, para a promoção do desenvolvimento e do bem estar da população do estado da Paraíba” já mencionava algo em relação à elaboração de um plano estadual de recursos hídricos. O PERH-PB foi elaborado em três etapas onde foram levantadas diversas informações sobre temas relacionados aos recursos hídricos do estado, feito o planejamento estabelecendo cenários de para o processo de gestão de recursos hídricos e apresentando um detalhamento dos Programas de ação previamente identificados por meio de levantamentos e estudos.

## 2.2 Ciclo Hidrológico e o Balanço Hídrico

A forma mais usual de se estudar sistemas hídricos é o balanço hídrico, que utiliza os princípios do ciclo hidrológico (Figura 1), considerando basicamente o balanço das entradas do sistema (afluências) e das saídas do sistema (infiltração, evaporação, vertimento e retiradas para consumo). O entendimento desse balanço é um dos fundamentos importantes para conhecer os efeitos antrópicos sobre o meio natural, disponibilidade hídrica e sustentabilidade ambiental. O mesmo pode ser realizado para uma camada de solo, para um trecho de rio ou por uma bacia hidrográfica. O entendimento destes componentes depende de vários fatores como: precipitação, evapotranspiração potencial (aqui embutidas outras variáveis climáticas), condições do solo e uso do solo, geologia subterrânea (TUCCI, 2009).

Figura 1– Ciclo hidrológico (com abreviações)



Fonte: FISRWG 1998

Para se entender melhor o ciclo hidrológico e o seu funcionamento é necessário conhecer alguns conceitos dos elementos que fazem parte do mesmo. Dentre eles, a precipitação, que é toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são todas diferentes formas de precipitações. Já o escoamento superficial é a parte do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia. Quando a bacia é rural e possui cobertura vegetal, o escoamento na superfície sofre a influência desta cobertura e grande parte da água infiltra. Essa infiltração pode ser definida como a passagem de água da superfície para o interior do solo. Portanto é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presente no seu interior (TUCCI, 2007). Há ainda a evapotranspiração que é considerada como o processo de água perdida em uma bacia, devido à evaporação de uma superfície saturada, transpiração da vegetação ou a umidade do solo (SPEIDEL, et al., 1988, apud POMPÊO, 1990).

O conhecimento do balanço hídrico possibilita um melhor entendimento do comportamento hidrológico e auxilia no planejamento e manejo sustentável dos recursos naturais, por fornecer informações sobre a evapotranspiração potencial, os períodos de déficit e excessos hídricos, o armazenamento de água no solo e a quantidade de água que escoar fora do sistema (BELTRAME e TUCCI, 2004).

Segundo Rennó e Soares (2006), existem também outros modelos hidrológicos que ajudam a entender o impacto das mudanças no uso de reservatórios e assim prever alterações futuras. Estes são classificados de acordo com o tipo de representação do sistema, o tipo de relações entre essas variáveis, o tipo de variáveis utilizadas na modelagem, a existência ou não de relações espaciais, e o tipo de equação diferencial (linear ou não).

Modelos físicos representam um sistema que é assumido para ser significativamente mais simples do que o sistema idealizado. Os modelos numéricos são representações matemáticas do sistema físico idealizado. As funções utilizadas na elaboração do modelo teórico levam em consideração os processos físicos. Já os modelos empíricos, utilizam-se de funções empíricas que não estão relacionadas com os fenômenos físicos, mas permitem retratar a saída do sistema em função da entrada ou são aqueles em que se ajustam os valores calculados aos dados observados,

através de funções que não tem nenhuma relação com os processos físicos envolvidos (TUCCI, 1998; TUCCI, 2004 apud Lopes, 2007).

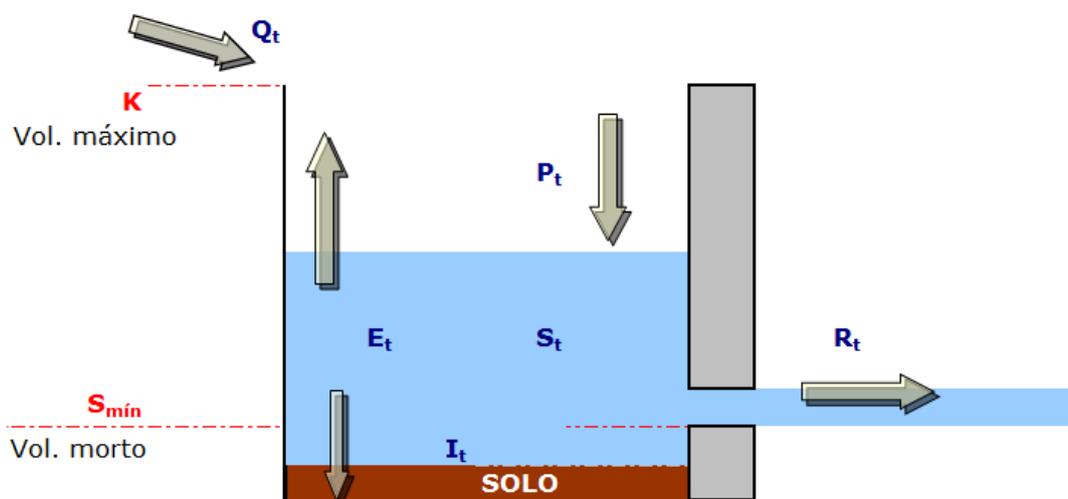
De acordo com Tucci (2004), existe o modelo concentrado, que é aquele que não leva em conta a variabilidade espacial, considera os dados de entrada e os parâmetros representativos como valores médios válidos para toda área de estudo. Já no modelo distribuído, quando as variáveis e os parâmetros dependem do espaço, os dados de entrada e as características da bacia variam no espaço e estas informações podem ser distribuídas em sub-bacias.

Num reservatório de armazenamento de água, o balanço hídrico pode ser representado da seguinte forma, como mostram a equação 1 e a figura 2:

$$S_{t+1} = S_t + P_t + Q_t - E_t - R_t - I_t \quad (1)$$

Nessa fórmula,  $t$  é um índice que representa o intervalo de simulação atual e  $t+1$  é o próximo intervalo de simulação;  $S$  o volume armazenado no reservatório;  $P$  o volume de água precipitado sobre o lago do reservatório;  $Q$  o volume de vazão afluente ao reservatório;  $E$  o volume de água perdido por evaporação ( $E_v$ ) e infiltração ( $I$ ) do reservatório;  $R$  o volume retirado do reservatório para consumo.

Figura 2 - Esquemática do balanço hídrico em um reservatório



Fonte: Planilha Hidro (2004)

Da figura acima ainda tem-se que  $K$  é o volume máximo de armazenamento do reservatório e  $S_{mín}$  o volume morto do reservatório (volume que fica abaixo do nível de captação por bombeamento). Este balanço tem como restrição que  $S_t$  deve estar entre o volume máximo  $K$  e o volume morto  $S_{mín}$  (Planilha Hidro, 2004).

### 2.3 Operação de Reservatórios

De acordo com Schefer (2016), os reservatórios representam componentes fundamentais da infraestrutura social e econômica para uma população. Uma das principais razões para sua construção é a necessidade de garantir um abastecimento de água mais confiável e eficaz a partir do armazenamento de água e regularização do fluxo natural dos cursos d'água.

Ultimamente tem se tornado cada vez mais difícil a construção de novos barramentos para o armazenamento de água, tanto pela existência de muitos reservatórios de pequeno porte (que dificultam as recargas dos grandes reservatórios) quanto por questões sociais e/ou ambientais. Desse modo, torna-se necessário otimizar a operação e o desempenho dos reservatórios já existentes.

Para tanto, faz-se necessário observar algumas características correlacionadas a essa questão da reservação de água para os diversos usos. De acordo com Heller e Pádua (2010), as instalações para abastecimento de água devem ser capazes de fornecer água com qualidade, regularidade, e de forma acessível para as populações, proporcionando os usos múltiplos e assegurando à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água.

Um sistema de abastecimento urbano deve ser planejado e projetado para funcionamento contínuo e eficaz, ou seja, sem interrupções no fornecimento de água à população, de forma a cumprir seus objetivos propostos e atender às diversas demandas requeridas. Todavia, em alguns casos, a disponibilidade de água tem sido insuficiente para atender às atuais demandas hídricas, conforme apresentado no Encarte Especial sobre a Crise Hídrica do Informe da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil de 2014, publicado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2015).

A insuficiência para atendimento às demandas está ligada diretamente à escassez da água, que é definida pela diferença entre o volume de água

disponibilizado ao usuário e o volume que o mesmo utilizaria caso não houvessem restrições, tanto de disponibilidade quanto de preço (JENKINS et al., 2004 apud MARQUES et al., 2006).

Segundo Schefer (2016) a escassez hídrica pode se dar de maneira qualitativa ou quantitativa. A escassez qualitativa refere-se às situações onde, mesmo que haja quantidade de água suficiente para atender às demandas, a sua qualidade não é adequada aos usos pretendidos. A escassez quantitativa pode ocorrer quando a disponibilidade hídrica é menor do que o esperado, devido às variabilidades climáticas, ou quando há um aumento das demandas de modo que a disponibilidade hídrica deixa de ser suficiente para seu total atendimento. Muitas vezes esse aumento da demanda está vinculado ao crescimento populacional; ao desenvolvimento econômico, e também ao uso ineficiente dos recursos hídricos.

Em bacias hidrográficas com alta variabilidade hidrológica (com irregularidade temporal e espacial das precipitações, além de altos índices de evaporação, por exemplo) como as inseridas em regiões semiáridas, o abastecimento urbano é geralmente feito através de reservatórios de regularização de vazão, de modo a possibilitar o atendimento mesmo durante os meses ou anos de estiagem (NUNES, 2015).

Uma vez que a distribuição dos recursos hídricos não é homogênea no espaço e no tempo, torna-se extremamente necessário realizar um planejamento adequado dos recursos hídricos, de forma a reservar água em períodos de maior abundância para utilização em períodos onde naturalmente haveria escassez destes recursos (SCHEFER, 2016).

Segundo Loucks e Van Beek (2005), períodos de estiagens são imprevisíveis, tanto no aspecto temporal como em relação à sua intensidade de duração, de modo que é difícil determinar quais as melhores medidas a serem tomadas no momento que se percebe que está se iniciando um período de seca. Os impactos socioeconômicos de um período de estiagem ocorrem quando a demanda para as atividades sociais e econômicas superam a disponibilidade hídrica.

De acordo com Heller e Pádua (2010), “para assegurar condições adequadas de abastecimento de água ou de saneamento, uma abordagem de engenharia torna-se essencial, pois as instalações devem ser planejadas, projetadas, implantadas,

operadas e mantidas”. Nesse sentido pode-se pensar em operação de reservatório como um setor da gestão que atua de forma mais direta e eficaz através da utilização de diversos instrumentos.

O órgão operador é o responsável pela liberação da água para o atendimento das diversas demandas. Isso deve ser feito com base em estudos, tanto das características locais quanto das particularidades climáticas, estruturais e sociais (NUNES, 2015).

Tendo em vista que a operação de reservatórios apresenta alto impacto na sociedade e na economia, elaborar políticas de operação de reservatórios é essencial. Uma política de operação é um conjunto de regras para armazenar e liberar água de reservatórios em um dado sistema de recursos hídricos. Os três maiores tipos de decisões a serem tomadas acerca do rateio entre o armazenamento e a liberação de água são o rateio entre reservatórios, entre finalidades, e entre períodos de tempo (BOWER et al., 1962).

É válido ainda destacar algumas dificuldades no que diz respeito ao tema tratado. Um dos problemas é a falta de preparo dos operadores de reservatórios, uma vez que não são em todos os casos que essas funções são exercidas por profissionais da área, como hidrólogos ou outros especialistas em gestão de recursos hídricos, mostrando assim um certo desleixo e desconsiderando os aspectos sociais, ambientais e econômicos na operação.

Outro problema bastante peculiar é a construção desordenada de pequenos e médios açudes à montante de grandes reservatórios numa mesma bacia hidrográfica. Esses açudes “particulares” acabam retendo grande quantidade de água, o que interfere diretamente na recarga dos reservatórios de maior dimensão e importância para as grandes populações que dependem deles para o seu abastecimento. Além de favorecer somente pequenos grupos, esses açudes por muitas vezes ainda acabam por ter a água evaporada antes mesmo de seu uso, o que gera um prejuízo ainda mais grave (NUNES, 2015).

Para uma eficiente operação de reservatórios é importante o uso de ferramentas que auxiliem nas tomadas de decisão. Para tanto, podem ser destacados alguns modelos já desenvolvidos. Entre estes, a regra padrão de operação - SOP: Standard Operating Policy (STEDINGER, 1984), considerada a mais simples e mais

amplamente utilizada, cuja política de operação consiste em atender à demanda sempre que possível, de forma a não armazenar água para usos futuros caso não haja excedente após o completo atendimento da demanda. Já a regra de decisão linear – LDR: Linear Decision Rule (REVELLE et al, 1969), otimiza a regra de operação utilizando a programação linear (SCHEFER, 2016).

Há ainda as políticas descritas por Bower et al. (1962), The Pack Rule e The Space Rule. A primeira mantém o reservatório com uma parte do seu volume vazio para comportar vazões afluentes previstas que, caso contrário, verteriam. A segunda funciona para o caso de reservatórios paralelos, pois evita a ineficiência do sistema criada por operações inadequadas que levariam um reservatório a verter enquanto outro, paralelo a este, não se encontra completamente cheio. Existe também a política de salvaguarda – The Hedging Rule (BOWER et al, 1962), que é geralmente utilizada para o racionamento no abastecimento de água. Esta regra configura penalidades maiores para grandes déficits e suaviza suas flutuações. Desta forma, a utilização do *hedging* só se justifica se os usos da água tiverem funções de perdas não lineares, de forma a penalizar os déficits maiores (SCHEFER, 2016).

### 3 METODOLOGIA

Para realização do balanço hídrico, foco deste trabalho, foi utilizada a planilha Hidro. Um instrumento capaz de realizar computacionalmente o balanço hídrico de determinado reservatório, através da inserção de dados como curva cota-área-volume, demanda, evaporação do espelho d'água, dentre outros.

Desenvolvida em 1997 por Ricardo Pereira da Silva, com a colaboração do Departamento de Sistemas da Computação – DSC e Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba – AAGISA (denominada atualmente de AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) e com versões modificadas por outros profissionais e colaboradores, essa planilha permite mostrar aos gestores de recursos hídricos e pesquisadores como se dá o comportamento do reservatório estudado, podendo auxiliar na tomada de decisão com relação à operação do mesmo (Planilha Hidro, 2004).

#### **Modelos de simulação para operação de reservatórios**

É importante ressaltar os componentes que fazem parte dos modelos de simulação desse método para a operação de reservatórios, onde tem-se as variáveis de entrada (vazões afluentes, evaporação, demandas, limites operacionais dos níveis do reservatório, entre outros), as variáveis de estado, que variam durante a simulação, as variáveis de saída, que são as respostas da simulação, e os parâmetros característicos do sistema, como o volume mínimo por exemplo, bem como os intervalos de tempo de simulação, que podem ser mensais e diários dependendo do foco do estudo.

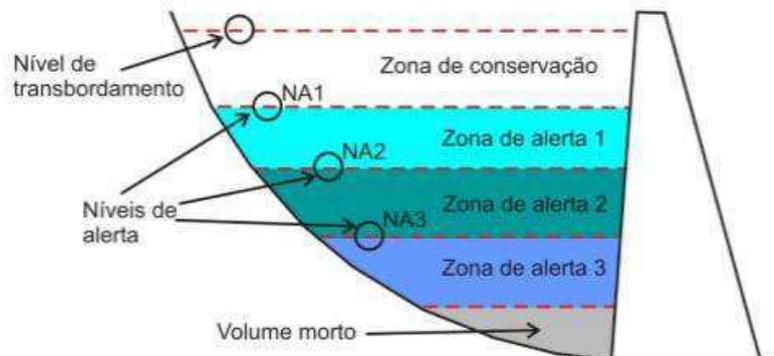
#### **Abas da Planilha Hidro**

- **Curva C-A-V:** A planilha de dados de entrada que fornece a Curva Cota-Área-Volume é montada a partir de dados de projeto inicial do reservatório ou de batimetrias mais atuais que estejam disponíveis. É um modelo que interpola linearmente as informações necessárias entre os pontos dados.
- **Dem, Afl, Evp:** É uma planilha de entrada que contém dados da demanda desejada, médias mensais de vazão afluente e evaporação no lago do

reservatório, encontrados a partir de séries históricas e estudos desenvolvidos na região.

- **Precipitações:** Planilha de dados de entrada que contém a série histórica de precipitações mensais, da qual se obtêm as precipitações médias mensais.
- **Vazões:** Planilha de dados de entrada que contém a série histórica de vazões mensais afluentes ao reservatório, da qual se calculam as vazões médias mensais afluentes.
- **Alerta:** Esta já é uma planilha de dados de saída, que não será o enfoque do trabalho, mas que é também muito útil pois com base em séries históricas de dados, ela simula cenários de afluência e demanda, a partir dos quais se podem definir os níveis críticos de operação para o reservatório, que servirão para indicar o momento correto para as tomadas de decisão, os chamados níveis de alerta, conforme mostra a figura 3 a seguir:

Figura 3 - Níveis de alerta de um reservatório



Fonte: Planilha Hidro 2004

- **Gerenciamento:** Outra planilha de dados de saída (utilizada neste estudo) onde, com base em um volume inicial do reservatório, são simulados cenários de afluência, podendo-se “prever” o volume acumulado no reservatório mês a mês e decidir quais medidas serão tomadas para otimizar o uso de seus recursos. O balanço hídrico do reservatório é representado aqui com a finalidade de previsão.
- **Previsão:** Planilha de dados de saída que também não será prioridade no presente projeto. Realiza a previsão de comportamento do reservatório para

um determinado mês, com base na previsão meteorológica disponível, na série histórica de precipitações e nos resultados obtidos para a simulação do cenário atual.

### **Obtenção de dados**

Nessa fase foi feita a coleta dos dados necessários para a realização do trabalho. Para tal, foram realizadas pesquisas nos sites oficiais dos órgãos responsáveis pelos mesmos. Na ausência dos dados, foi realizada, via ofício (e-protocolo) junto à Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, o requerimentos dos dados. Além da solicitação oficial, foram realizadas visitas à agência (Gerência localizada em Campina Grande-PB) para reforçar o pedido e esclarecer dúvidas. Foram solicitados os dados referentes as vazões afluentes nos diferentes trechos do rio Paraíba (Monteiro-PB – Boqueirão-PB) após a liberação das águas da Transposição. Foram pesquisados também dados referentes às demandas utilizadas, com base em resoluções, pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA.

### **3.1 Área de estudo**

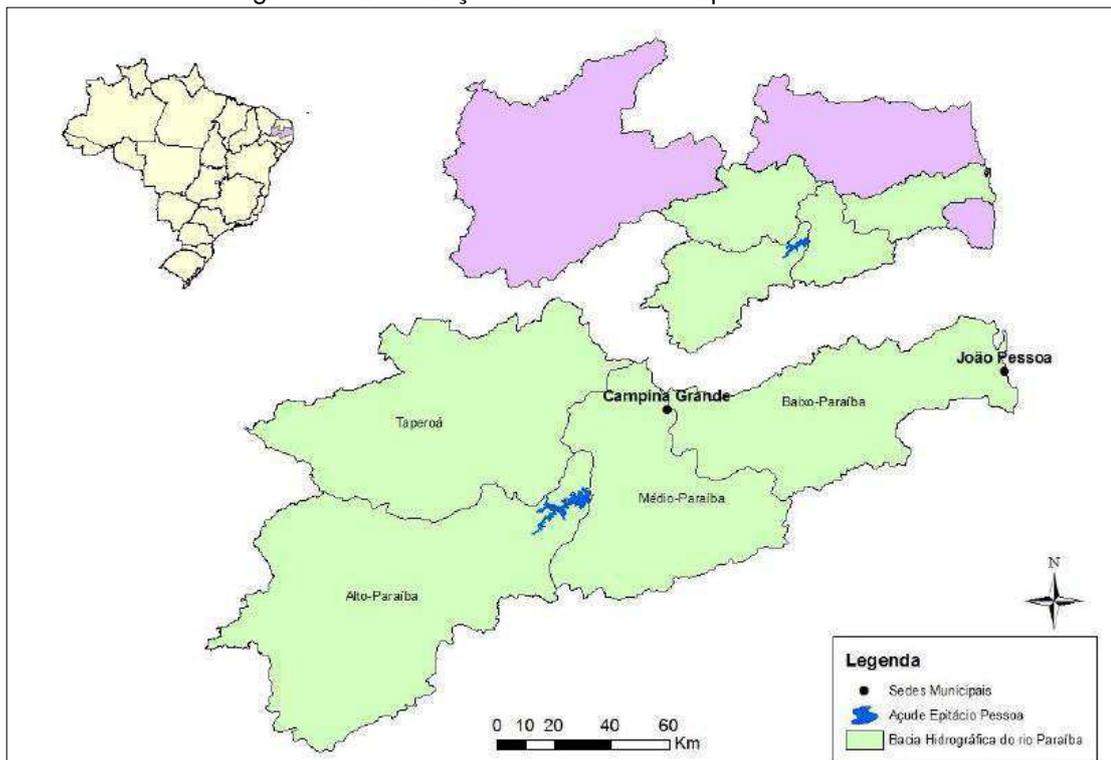
A área de estudo deste trabalho compreende o reservatório Epitácio Pessoa, construído pelo governo federal através do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, no período de 1952 a 1956. O mesmo é popularmente conhecido como açude de Boqueirão. A barragem do açude, construída na cidade Boqueirão, situa-se a oeste de João Pessoa, a cerca de 45 km da cidade de Campina Grande como se pode observar na figura 4. O acesso ao local pode ser feito a partir de Campina Grande, por via rodoviária, através da PB-148. O lago formado cobre uma área de 2.680 ha. Sua capacidade máxima de acumulação é de 411.686.287 metros cúbicos (ANA, 2015).

Segundo Rêgo et al., 2013, o Epitácio Pessoa está situado na porção semiárida da bacia hidrográfica do rio Paraíba, a maior entre aquelas totalmente inseridas no território paraibano. Além de se constituir na segunda maior reserva hídrica do estado, sua importância cresce por ser a principal fonte de abastecimento de um conglomerado urbano de 26 sedes municipais e distritos espalhados pelas

microrregiões do Cariri e do Agreste, de elevada semiaridez. Entre os núcleos populacionais abastecidos destaca-se, acentuadamente, a cidade de Campina Grande, a maior do interior do estado, polo comercial, industrial e educacional. A água represada ainda é empregada na irrigação de lavouras permanentes e temporárias praticada às suas margens. Durante décadas foi também dela liberada uma vazão para perenização do rio, a jusante.

A bacia hidrográfica do rio Paraíba tem área total de 19.457 Km<sup>2</sup>, totalmente contida no estado de mesmo nome, situado na região Nordeste do Brasil. Grande parte dessa bacia padece sob a intermitência do clima semiárido, característico do interior nordestino, que ali atinge seu grau mais intenso, especificamente na microrregião geográfica dos Cariris Velhos, envolta pela isoietta média anual de 500 mm (RÊGO et al., 2015).

Figura 4 – Localização do reservatório Epitácio Pessoa.



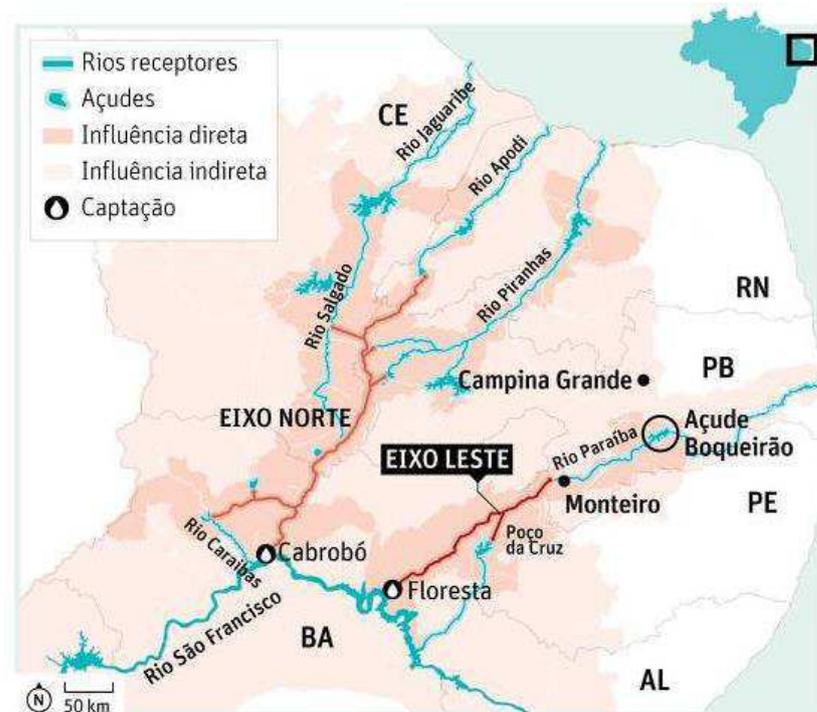
Fonte: NUNES et al. (2015)

### 3.1.1 Projeto de Transposição do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF)

Segundo o Ministério da Integração (2018), o PISF conta com 477 quilômetros de extensão em dois eixos (Leste e Norte) que englobam a construção de 13 aquedutos, nove estações de bombeamento, 27 reservatórios, 9 subestações de 230 quilowatts, 270 quilômetros de linhas de transmissão em alta tensão e 4 túneis. Tem como objetivo garantir a segurança hídrica de 12 milhões de pessoas em 390 municípios dos estados de Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, onde a estiagem é frequente.

Como já citado, neste trabalho foram obtidos dados de vazão afluentes no rio Paraíba, que é contemplado pelo eixo Leste da transposição. Este eixo contempla os municípios pernambucanos de Floresta, Custódia, Betânia e Sertânia, chegando em Monteiro, na Paraíba, (MI, 2018) como mostra a Figura 5. O Eixo Norte contempla os municípios de Cabrobó, Salgueiro, Terranova e Verdejante (PE); Penaforte, Jati, Brejo Santo, Mauriti e Barro (CE); e São José de Piranhas, Monte Horebe e Cajazeiras (PB).

Figura 5 – Localização dos Eixos do Projeto de integração do Rio São Francisco.

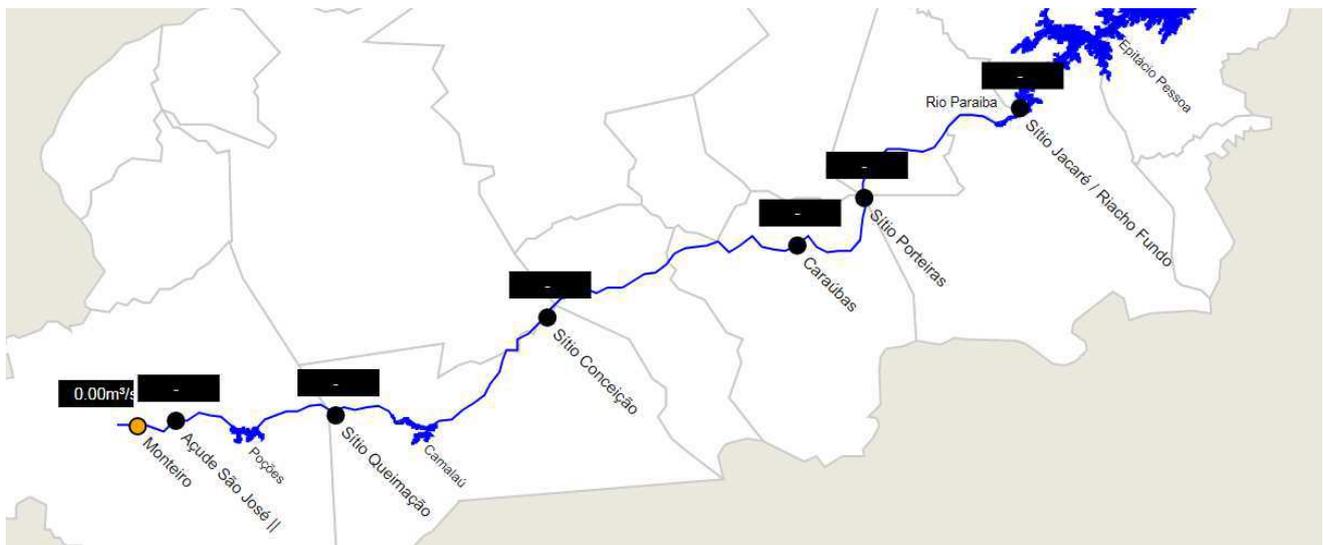


Fonte: Folhapress 2018

### 3.2 Tratamento dos dados obtidos

Após solicitação dos dados, estes foram disponibilizados na página da AESA, de forma acessível a toda a população, contendo todo o trecho desde o término do canal da transposição na cidade de Monteiro-PB até chegar ao açude de Boqueirão, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Postos fluviométricos do projeto de integração do Rio São Francisco.



Fonte: AESA 2019

Percebeu-se que no primeiro posto, na cidade de Monteiro, onde desembocam as águas diretamente no leito do rio Paraíba, o volume indicado de vazão era de 0,00 m<sup>3</sup>/s. Isso ocorre porque, no atual momento, a transposição está parada. Se assim não fora, estaria apresentada a vazão corrente medida no posto. Isso acontece de forma semelhante em todos os outros, desde Monteiro até o Sítio Jacaré/ Riacho Fundo. Este é o último dos sete postos de medição de vazão antes da entrada no reservatório Epitácio Pessoa.

Ao clicar em cada posto, a página mostrava uma atualização com campos de entrada para a faixa de tempo na qual o usuário necessita dos dados. Assim sendo, como o objetivo do trabalho era conhecer todas as alterações no balanço hídrico advindas do projeto, foi preciso colocar o período de início do funcionamento do mesmo, no mês de abril de 2017 até a data do seu desligamento provisório, que se deu em março de 2018 por recomendação do Ministério Público Federal (MPF) (Brasil, 2018). Vale ressaltar que este trabalho tomou o período de março de 2017 até

fevereiro de 2018 como base para o estudo, levando em conta tanto o funcionamento do projeto, bem como um período de precipitações quase, ou, inexistentes, o que deixaria as simulações menos distantes da realidade.

Foi fornecido, primariamente, um gráfico da vazão versus o período solicitado (gráfico 1). Na mesma área há um indicador para a exportação dos dados. Esse processo foi realizado levando diretamente a uma planilha com todos os valores já mostrados do posto de medição, como apresenta a tabela 1.

Gráfico 1 - Vazões no posto solicitado

### POSTO FLUVIOMÉTRICO: PISF MONTEIRO



Fonte: AESA (2019)

Tabela 1 - Valores de vazão no posto de Monteiro

<b>Posto</b>	<b>Data do registro</b>	<b>Cota</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>)</b>
	01/05/2018 13:00:00	315	0,14
	09/04/2018 11:00:00	321	0,73
	01/03/2018 00:00:00	343	4,65
	01/02/2018 00:00:00	339	3,78
	01/01/2018 07:00:00	334	2,78
	01/12/2017 00:00:00	340	3,99
	01/11/2017 00:00:00	336	3,17
	01/10/2017 00:00:00	342	4,43
	01/09/2017 23:00:00	334	2,78
	01/08/2017 23:00:00	336	3,17
	01/07/2017 23:00:00	331	2,23
	01/06/2017 23:00:00	350	6,31
	15/05/2017 23:00:00	351	6,56

Fonte: AESA (2019)

De maneira análoga, o procedimento teve de ser repetido manualmente em todos os postos, colocando-se os intervalos dos períodos desejados, e exportando os dados de cada posto individualmente, gerando documentos separados. Só então pôde ser feita a análise minuciosa dos valores das vazões.

Detendo tais dados, foi possível notar algumas inconsistências. Da tabela acima vê-se logo as vazões em unidades de volume (m<sup>3</sup>), mas isso é apenas um erro de representação de unidade, conforme explicação de agentes da AESA. Existe também a questão da descontinuidade nas datas de medição, onde faltam dados de determinados meses. Há ainda a rara presença de valores negativos para algumas vazões, ou valores exorbitantes como mostra a tabela 2, proveniente dos valores do posto do Sítio Porteiras. Conforme informações passadas por funcionários da AESA, essas falhas podem advir de fatores externos, uma vez que os sensores utilizados são de pressão por capilaridade, sendo muito sensíveis, até mesmo a objetos que possam colidir com os mesmos.

Tabela 2 - Valores de vazão no posto do Sítio Porteiras

<b>Posto</b>	<b>Data do registro</b>	<b>Cota</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>)</b>
	01/03/2018 00:00:00	103	3,38
	01/02/2018 00:00:00	81	2,64
	01/01/2018 00:00:00	77	2,49
	01/12/2017 00:00:00	87	2,86
	03/11/2017 14:00:00	298	3,79
	01/10/2017 00:45:00	75	3367,39
	01/09/2017 23:45:00	290	6,16
	01/08/2017 23:45:00	293	6,48
	06/07/2017 23:45:00	288	5,95

Fonte: AESA (2019)

Foi necessário filtrar esses dados de uma forma muito cuidadosa e detalhada. Isso se deu pela observação de todas as planilhas, tomando-se os valores das vazões dos postos mais próximos do reservatório Epitácio Pessoa em sequência das datas utilizadas para a obtenção de resultados os mais consistentes possíveis e próximos da realidade, apesar das falhas dos sensores de medição.

É importante salientar que os valores fornecidos foram, em sua maioria, medições de um único dia de cada respectivo mês. Para a efetuação da simulação foi utilizado um valor médio da vazão diária para que assim pudesse ser convertido num acréscimo de volume afluente mensal no reservatório. Desse modo, esses valores foram utilizados para gerar este valor médio, possibilitando a obtenção das afluências mensais, conforme mostra a tabela 3. A tabela abaixo também mostra os respectivos postos de onde foram selecionados os dados de vazão para a utilização.

Tabela 3 - Afluentes mensais calculados a partir dos dados de vazão.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Nº dias</b>	<b>Posto</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>	<b>Vazão média(m³/s)</b>	<b>Acres Afl. mensal (m³)</b>
abr/17	12	S. Conceição	5,45	5,04	5.221.702
mai/17	31	S. Conceição	7,69	5,04	13.499.136
jun/17	30	S. Conceição	5,05	5,04	13.063.680
jul/17	31	S. Porteiras	5,95	5,04	13.499.136
ago/17	31	S. Porteiras	6,48	5,04	13.499.136
set/17	30	S. Porteiras	6,16	5,04	13.063.680
out/17	31	Caraúbas	7,18	5,04	13.499.136
nov/17	30	S. Porteiras	3,79	5,04	13.063.680
dez/17	31	S. Porteiras	2,86	5,04	13.499.136
jan/18	31	S. Porteiras	2,49	5,04	13.499.136
fev/18	28	S. Jacaré/ R. F.	2,3	5,04	12.192.768

Fonte: AESA; adaptado pelo autor (2019).

Percebe-se que a quantidade de dias de cada mês foi colocada na tabela justamente para que os valores de volume calculados sejam mais parelhos com a realidade, para a efetuação das simulações. No mês de abril de 2017 só foram contados 12 dias, tendo em vista que as águas da transposição só chegaram ao açude no dia 18 do mês supracitado (LIRA, 2017).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Simulação do Balanço Hídrico com a planilha Hidro

Para um melhor entendimento do trabalho, foi organizada a tabela 4, com os volumes reais do início de cada mês do período em estudo, possibilitando assim a comparação entre os volumes simulados adiante e o volume real do Epitácio Pessoa.

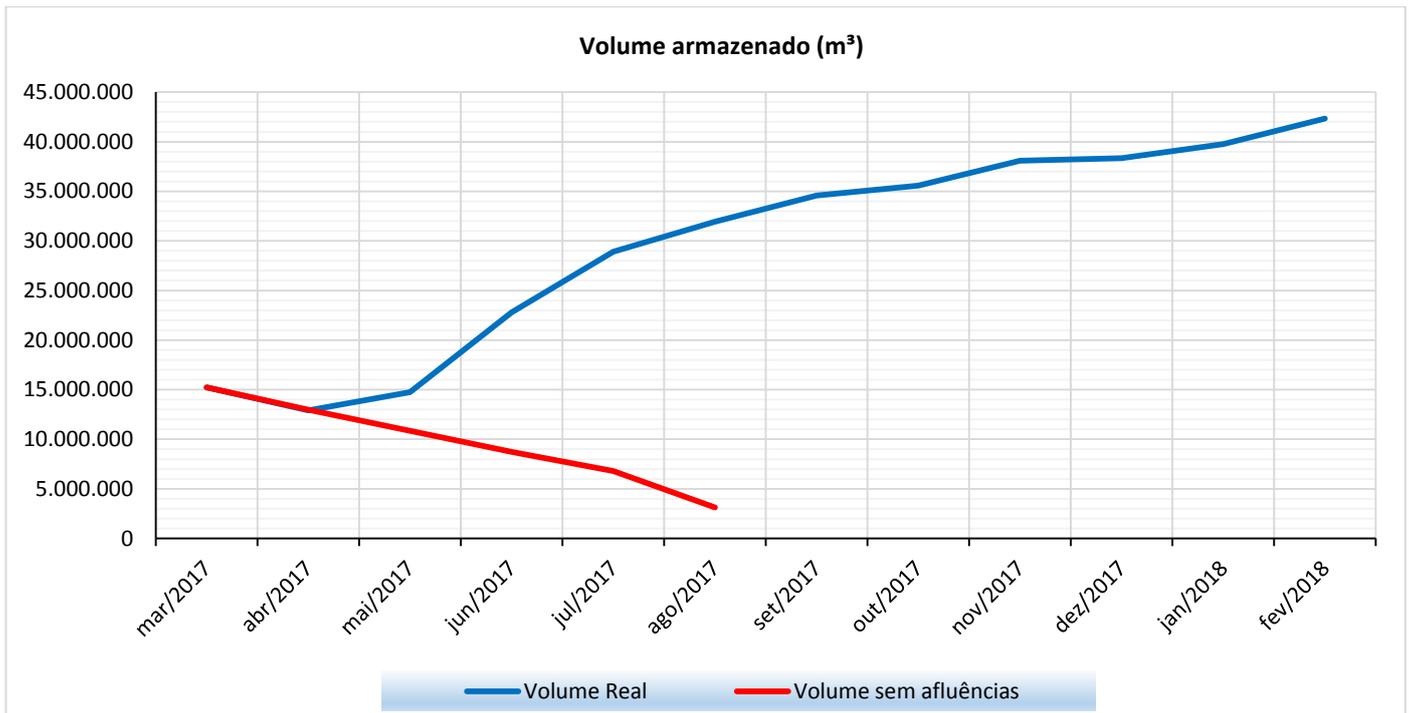
Tabela 4 - Volumes reais do reservatório no período em estudo

<b>Mês/Ano</b>	<b>Volume Real (m<sup>3</sup>)</b>
mar/17	15.240.000
abr/17	12.920.000
mai/17	14.750.000
jun/17	22.780.000
jul/17	28.910.000
ago/17	31.950.000
set/17	34.590.000
out/17	35.580.000
nov/17	38.090.000
dez/17	38.350.000
jan/18	39.770.000
fev/18	42.330.000

Fonte: Olho N'Água, INSA; adaptado pelo autor (2019)

Utilizando-se da planilha Hidro, com todos os dados do reservatório implementados, entre eles a curva cota-área-volume, evaporação e demandas, foi feito o balanço hídrico, inicialmente sem as afluições calculadas, gerando uma comparação importante como mostra o gráfico 2.

Gráfico 2 - Comparação do volume real e volume sem afluições do reservatório



Fonte: O autor (2019)

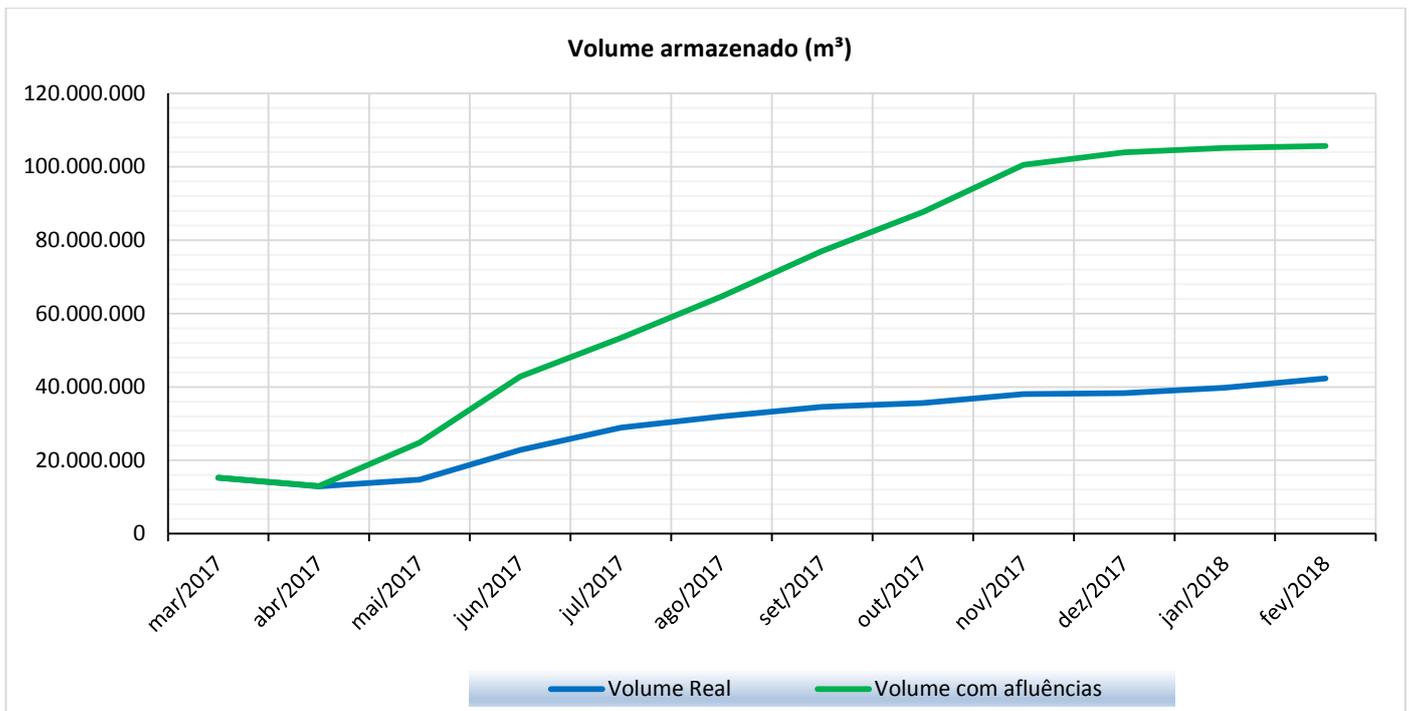
Neste gráfico pode-se observar o volume real (linha azul) decrescente do início de março até abril, tendo em vista que, como já mencionado, as águas do PISF só encontraram o espelho do açude Epitácio Pessoa no final do dia 18 de abril. A partir de então o volume é crescente até fevereiro de 2018 que, neste caso, é o último mês em estudo, quando contava com um volume de 42.330.000 metros cúbicos, representando 10,3% de sua capacidade máxima.

O volume simulado sem as afluições do projeto de transposição (linha vermelha) apresenta contínuo decréscimo, o que já era esperado em razão da grave crise hídrica que a região vinha padecendo e ao volume armazenado já muito baixo, 15.240.000 metros cúbicos pela medição realizada ao dia 01 de março de 2017, equivalente a apenas 3,7% de sua capacidade. Se as retiradas de água fossem mantidas, como mostra a simulação, no mês de agosto de 2017 o reservatório contaria apenas com um volume de 3.122.825 metros cúbicos, que representaria bem menos de 1% de sua capacidade total, um colapso que resultaria em uma catástrofe, com impactos inimagináveis.

Na tabela 3 estão os dados gerados com base na média de afluições medidas pela AESA, em volume (m<sup>3</sup>). Estes dados foram alocados na aba gerenciamento da

planilha hidro, e assim foi feito o balanço hídrico com as afluições advindas do projeto da transposição no período estudado, permitindo a geração do gráfico 3, que mostra o comparativo do volume real, que de fato recebeu entradas do PISF, com o volume simulado com as afluições médias.

Gráfico 3 - Comparação do volume real e volume com afluições do reservatório



Fonte: O autor (2019)

Pôde-se perceber um comportamento semelhante quanto ao crescimento do volume, o que era esperado, porém constatou-se também uma disparidade nos valores dos volumes ao longo do tempo em análise.

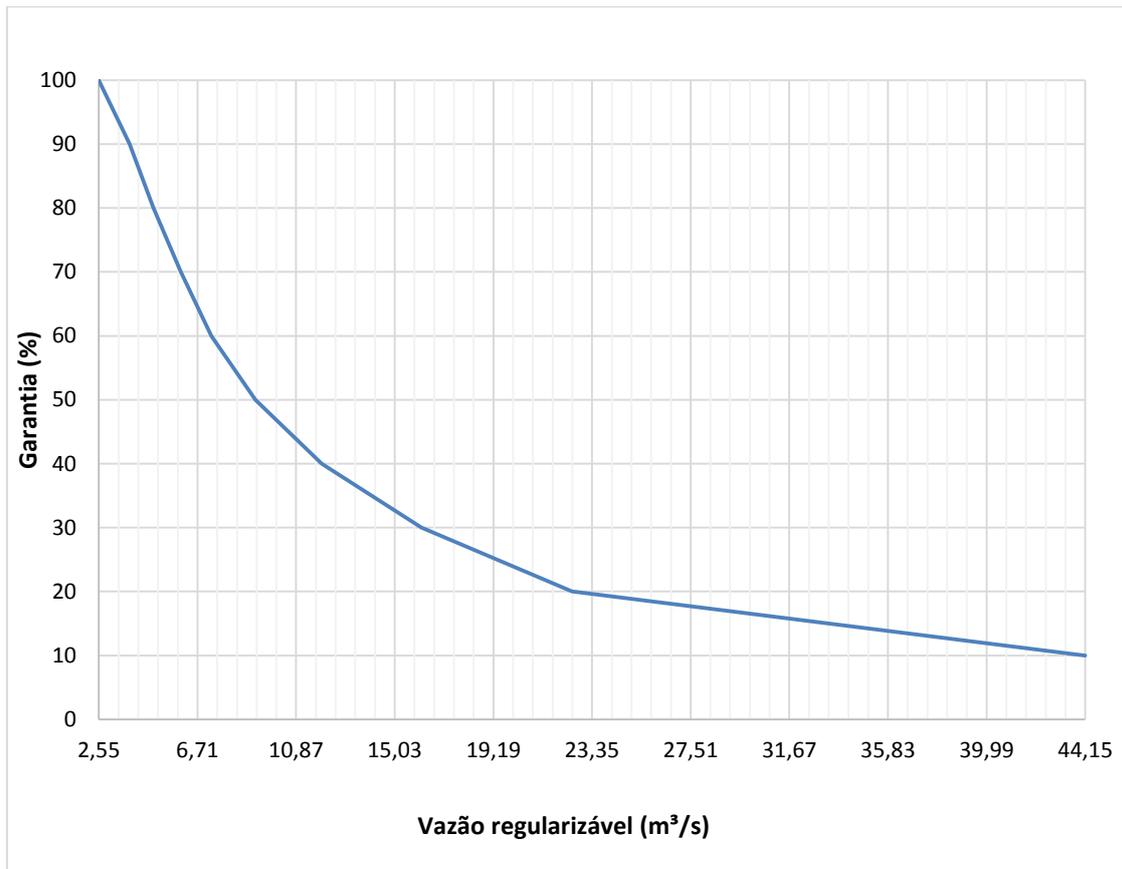
A curva com os valores dos volumes simulados com os aportes hídricos advindos do Projeto de Integração do São Francisco (linha verde) mostra uma taxa de crescimento maior que a do volume real. Isso reflete certa inconsistência dos dados, proveniente tanto da ausência de medições como da aproximação das vazões pela vazão média. Isso pode ser observado quando vistos os números dos volumes do último mês analisado, fevereiro de 2018 que é da ordem 105.656.031 metros cúbicos, na simulação, correspondendo a uma porcentagem de quase 26,0% da capacidade total, enquanto o volume real nessa mesma data representava 10,3% de sua capacidade, menos que metade do simulado.

Isso pode justificar-se por alguns fatores, como por exemplo os já mencionados quando do tratamento dos dados das vazões nos diferentes trechos do Rio Paraíba. Foram percebidas algumas inconsistências nos valores fornecidos pela AESA, como valores muito altos ou até mesmo negativos, que foram justificados por falhas nos próprios equipamentos medidores. Há ainda a questão da periodicidade das medições, uma vez que, na maioria dos postos, ela somente era realizada uma única vez ao mês, enquanto o ideal seriam dados diários para obter uma média de vazão mais real para o cálculo do balanço hídrico. A falta de uma série mais completa e consistente pode ter gerado esta disparidade entre os volumes simulados e os reais medidos. Por exemplo, há a probabilidade de, na maioria dos dias medidos, esse valor estar acima dos valores liberados nos demais dias de determinado mês. Soma-se a possibilidade de furtos de água tanto nos trechos do rio um pouco antes do desemboque no reservatório como usos e retiradas indevidas do próprio açude Epitácio Pessoa.

#### **4.2 Obtenção da nova curva de garantia**

Pela simulação do balanço hídrico com todos os dados já citados no trabalho, e utilizando a metodologia de Nunes et al., (2015) que havia encontrado uma vazão de regularização de 1,23 m<sup>3</sup>/s (valor igual a vazão de regularização apresentada no Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba), de forma iterativa foi possível encontrar a vazão de regularização do reservatório Epitácio Pessoa para essa nova configuração hídrica simulada, ou seja, considerando entradas fixas da transposição que foram somadas às aflúências médias históricas (NUNES, 2015). As simulações foram realizadas utilizando uma série de vazões de 1963 a 1983 (NUNES, 2015). Desta forma, construiu-se a curva de garantia do gráfico 4, mostrado adiante.

Gráfico 4 - Curva de garantia com afluências obtidas



Fonte: O autor (2019)

A vazão de regularização encontrada foi de 2,55 m³/s. Isto significa que, se fossem mantidas essas afluências e retiradas dos valores do período em estudo, o reservatório daria uma garantida de 100% para seus usos. Essa curva é muito útil pois mostra justamente as vazões que podem ser demandadas do açude para uma correspondente garantia de uso, uma vez que há diferenças de prioridade e de vazão demandada entre usuários. Agricultores, por exemplo, não usam água de forma contínua, o que os difere do abastecimento urbano.

De forma prática, a curva de garantia pode ser utilizada para analisar os riscos de falhas, assumidas pela utilização de um determinado valor de vazão. Na simulação, por exemplo, se ao invés de 2,55 m³/s (vazão de regularização) fosse retirada uma vazão de 9,15 m³/s seria assumido um risco de 50% de falhas, já que esse valor é o da vazão com garantia de 50%. Isto implicaria, por exemplo, num período de 12 meses, 6 meses com falhas no atendimento às demandas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As simulações feitas a partir dos valores obtidos fornecem informações úteis para as tomadas de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos.

No período estudado (intervalo de um ano), o uso indiscriminado causado por uma 'falsa confiança' nas águas da transposição poderia também levar a um colapso. Por isso, faz-se sempre necessária a conscientização atrelada à uma boa gestão dos recursos hídricos. Esta, por sua vez, necessita de ferramentas e instrumentos técnicos como o balanço hídrico aqui realizado.

Foi visto que, de fato, o Projeto de Integração do São Francisco foi de fundamental importância para livrar a população de uma situação mais degradante do que já se encontrava no momento estudado, uma vez que, os volumes reais se mostraram crescentes, contrastando com os valores degradantes da primeira simulação realizada sem as afluições do mesmo. Tal simulação mostrou que o reservatório não teria condições de chegar ao final do ano de 2017 caso continuasse com as mesmas retiradas e sem nenhum aporte hídrico.

Na segunda simulação percebeu-se que a média dos valores medidos das vazões de entrada advindos da transposição geraram volumes maiores que os reais. Como já discutido, isso pode ser resultado de fatores externos junto aos medidores, o que comprova a inconsistência dos dados.

Com as simulações, pôde-se atestar a eficiência da planilha Hidro. Com uma série de dados mais consistente seria possível realizar o balanço hídrico para prever a situação do reservatório após a liberação de vazões fixas de projeto.

A geração da nova curva de garantia para o reservatório em estudo, ferramenta simples porém de grande utilidade para a gestão e operação de reservatórios, apresentou resultados que satisfazem o objetivo proposto e confirmam que com uma contínua e mais apurada aferição e geração de dados é possível produzir bons instrumentos para uma maior otimização dos usos e da gestão das águas de reservatórios na nossa região.

A ferramenta aqui utilizada mostrou sua eficiência e importância nos estudos hidrológicos. Considerando que o reservatório Epitácio Pessoa alcançou o percentual

de 2,9% do seu volume total em março de 2017 não havendo, diante dessas circunstâncias, uma outra solução para a população e cidades da região, a ferramenta permitiu a visualização da importância do projeto de transposição do Rio São Francisco.

## REFERÊNCIAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas no Estado da Paraíba. **PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO – PISF**. 2019. Disponível em: <[http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/fluviometria/projeto-de-integracao-do-rio-sao-francisco-pisf/?id\\_posto=38895001](http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/fluviometria/projeto-de-integracao-do-rio-sao-francisco-pisf/?id_posto=38895001)>. Acesso em 29 de maio de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Encarte Especial sobre a Crise Hídrica: Informe 2014**. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – SPR, Brasília – DF, 2015.

ARANTES, M. V. H. **Balanço hídrico na bacia do Rio Urubici, em Santa Catarina, e sua relação com a zona de recarga do Aquífero Guarani**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ENS, UFSC. Florianópolis.

BATISTA, M. do S. **A problemática do abastecimento de água na cidade de Triunfo – PB, no período de 2012 – 2013**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso de Geografia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG- CFP. Cajazeiras.

BELTRAME, L. F. S.; TUCCI, C. E. M. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ª edição, Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2004. p. 253-287.

BOWER, B. T.; HUFSCHMIDT, M. M.; REEDY, W. W. Operating procedures: their role in the design of water-resource systems by simulation analyses. **Design of Water Resource Systems**, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, p. 443-458, 1962.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988, 292 p.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União** de 09 de janeiro de 1997, Seção 1, p. 470, 1997.

BRASIL. **Paralisação da operação do Eixo Leste do PISF para finalização das obras de recuperação nos reservatórios Poções e Camalaú.** Nota Técnica nº 06/2018/CGAOH/DPE/SIH. Ministério da Integração Nacional, Brasília, 2018, 3 p.

BRAVO, J. M.; TUCCI, C. E. M.; PILAR, J. V.; COLLISCHONN, W. **Otimização de regras de operação de reservatórios com incorporação da previsão de vazão.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, n. 1, p. 181-196, 2008.

CLARKE, R; KING, J. **O Atlas da Água: O mapeamento completo do Recurso Mais Precioso do Planeta.** São Paulo - SP: Publifolha, 2005. 128p.CNRH. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. Brasília, 2003.

DANTAS, P. H. N. **Fundamentos da Gestão de Recursos Hídricos no Rio Grande do Norte.** 2013.

DNOCS, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Açude Boqueirão de Cabaceiras. Barragem Epitácio Pessoa.** 1963. Disponível em: <<https://www.dnocs.gov.br/barragens/boqueirao/boqueirao.htm>>. Acesso em 10 de julho de 2019.

FILL, H. D.; SANTOS, I. dos; FERNANDES, C.; TOCZECK, A.; OLIVEIRA, M. F. **Balanco hídrico da bacia do Rio Barigüi, PR.** Raega - O Espaço Geográfico em Análise, v. 9, 2005.

G1 PB. **Suspensão da transposição do Rio São Francisco na PB é confirmada pelo Ministério da Integração.** 14 de março de 2018. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/ministerio-da-integracao-avalia-suspensao-da-transposicao-na-pb-como-necessaria.ghtml>>. Acesso em: 29 de maio de 2019.

HELLER, L.; DE PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG, Vol.1, 2ª edição revista e atualizada, 2010.

INSA. Plataforma de Acompanhamento dos Reservatórios da Região Semiárida - **Olho N'Água**. Disponível em: <[https://olhonagua.insa.gov.br/#!//?id=12172&reservatorio=epitacio\\_pessoa\\_\(boqueira\\_o\)](https://olhonagua.insa.gov.br/#!//?id=12172&reservatorio=epitacio_pessoa_(boqueira_o))>. Acesso em: 30 de maio de 2019.

LIRA, Artur. **Águas do Rio São Francisco chegam ao açude de Boqueirão, após 41 dias na PB**. 18 de abril de 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/aguas-do-rio-sao-francisco-chegam-ao-acude-de-boqueirao-apos-41-dias-na-pb.ghtml>>. Acesso em 26 de junho de 2019.

LOPES, N. H. Y. **Influências dos Usos do Solo nos Processos Hidrológicos em Microbacias Experimentais**. Catarina. Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Florianópolis, p. 28, 2007.

LOUCKS, D, P,; VAN BEEK, E, **Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models, and applications**, Studies and Reports in Hydrology, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2005.

MAISONNAVE, F.; KNAPP, E. **Após 1 ano, transposição do São Francisco já retira 1 milhão do colapso**. 12 de março de 2018. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/03/apos-1-ano-transposicao-do-sao-francisco-ja-retira-1-milhao-do-colapso.shtml>>. Acesso em 10 de julho de 2019.

MARABESI, F. M. **Gestão de recursos hídricos: uma abordagem da economia institucional sobre a reutilização da água**. 2012. Monografia. Curso de Ciências Econômicas – UNESP, FCL. Araraquara.

MARQUES, G. F.; JOHAN, R. **Economically driven simulation of regional water systems: Friant-Kern**, California. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 132, n. 6, p. 468-479, 2006.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Projeto de Integração do Rio São Francisco**. Disponível em: < <http://www.mi.gov.br/web/projeto-sao-francisco/entenda-os-detalhes> >. Acesso em 01 de agosto de 2018.

MIRANDA, H. de P. **Gestão de Recursos Hídricos nos Planos Diretores Municipais: Proposta de Subsídios Técnicos, Participação Coletiva e Gestão Pública Inteligente em Rio Pomba-MG**. 2010. Monografia e Seminário do Curso de Graduação em Geografia da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

MIRANDA, Amanda. **Transposição: eixo leste chega à capacidade máxima, diz ministério**. 06 de abril de 2017. Disponível em: < <https://blogs.ne10.uol.com.br/jamildo/2017/04/06/transposicao-eixo-leste-chega-capacidade-maxima-diz-ministerio/> >. Acesso em 29 de maio de 2019.

NUNES, T. H. C. **A Gestão do Reservatório Epitácio Pessoa e Regras de Operação Otimizadas**. 2015. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande, UFCG.

OLIVEIRA, R. R. V. de M. **Perda de Água por Evaporação em um pequeno Reservatório do Semiárido**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil. UFRN, Natal – RN.

PEREIRA, S.; PEREIRA, L. C. S. **A Proteção dos Recursos Hídricos no Brasil**. 2011. Monografia submetida ao Curso de Direito da Faculdade de Direito, Ciências Administrativas e Econômicas da Universidade Vale do Rio Doce. Governador Valadares.

POMPÊO, C. A. **Balanço Hídrico da Zona Não-Saturada do Solo na Bacia do Ribeirão da Onça (SP)**, 1990. Tese de Doutorado. São Carlos, SHS-EESC-USP.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Conceitos básicos de modelagem hidrológica**. 2006. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2\\_modelos\\_hidrologicos.pdf](http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2_modelos_hidrologicos.pdf)>. Acesso em: 02 de agosto de 2018.

REVELLE, Charles; JOERES, Erhard; KIRBY, William. The linear decision rule in reservoir management and design: 1. Development of the stochastic model. **Water Resources Research**, v. 5, n. 4, p. 767-777, 1969.

SANAE HORIKOSHI, A.; FISCH, Gilberto. **Balanço Hídrico Atual e Simulações para Cenários Climáticos Futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil**. Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 2, n. 2, 2007.

SCHEFER, J. **Técnicas de hedging para operação de reservatórios buscando minimizar perdas econômicas**. 2016. 114 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

SILVA, R. P. **Hidro - Versão original**. Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba e Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos Minerais da Paraíba. Campina Grande, 1997.

SILVA, S.; SILVA, J. S. **Análise das diretrizes do plano nacional de recursos hídricos no contexto internacional de governança da água**. 2017.

STEDINGER, J. R. The performance of LDR models for preliminary design and reservoir operation. **Water Resources Research**, 20(2), 215-224, 1984.

TOYAMA, I. T. **Gestão territorial e gestão dos recursos hídricos em reservatórios artificiais – avaliação dos planos de gestão aplicados ao reservatório da UHE**

**Salto Grande.** Trabalho de Conclusão de Curso para Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos e Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas, UNESP – Campus Experimental de Ourinhos. Ourinhos, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Balanco Hídrico.** RHAMA | APRENDA. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/index.php/sem-categoria/balanco-hidrico/>>. Acesso em 26 de julho de 2018.