



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
17 a 19 de novembro de 2020

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TEMPOS DE RETORNO EM VAZÕES NA BARRAGEM DE PEDRAS ALTAS-BA

Luanna Valéria Sousa Fonseca, contato.lfonseca@gmail.com, FAMAM  
Luan Marcos da Silva Vieira, luan\_msv@hotmail.com, UFMG  
Jonatas Fernandes Araújo Sodré, jfasodre@gmail.com, UFBA

### Resumo

Devido aos rompimentos de barragens que ocorreram no Brasil nos últimos anos, surgiu uma grande preocupação em relação a segurança desses elementos. O risco de ruptura decorrentes de cheias, podem trazer impactos ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, o estudo hidrológico para implantação de uma obra hidráulica é de extrema importância, afim de entender o comportamento das cheias e inundações para que se possa minimizar os impactos que possam ocorrer devido a esses eventos. Os métodos estatísticos empíricos são algumas das ferramentas frequentemente utilizadas em estudos hidrológicos para determinar a probabilidade da máxima vazão associada a diferentes tempos de retorno. Sendo assim, o presente artigo traz uma análise realizada a partir da coleta de dados de séries históricas de vazões e aplicados a métodos estatísticos para determinação de diferentes períodos de retorno para a barragem de Pedras Altas-BA.

**Palavras-chave:** Barragens, Risco Hidrológico, Cheias, Métodos Estatísticos.

### 1. Introdução

Diante dos recentes acontecimentos envolvendo falhas e rompimentos de barragens, surge uma grande preocupação em relação à segurança das mesmas. Em uma barragem, a elevação da vazão do reservatório por conta de períodos intensos de precipitações, podem provocar cheias e inundações, ocasionando riscos de acidentes (BALBI, 2011).

A cheia é um fenômeno hidrológico, com frequência variável, que pode ocorrer de forma natural como as precipitações ou artificial, como por exemplo, erro de operação de comportas de vertedouros de barragens (RAMOS, 2013).

Na elaboração do dimensionamento dos projetos, levam-se em conta os valores de vazões máximas levantadas em período adequado para cada sistema hidráulico. Em barragens, deve-se adotar um grande intervalo, pois elas possuem grande risco potencial de causar sérios danos ao vale a jusante (BALBI, 2011).

O estudo hidrológico é uma essencial ferramenta para implantação de obras relacionadas à captação, armazenamento, transporte e utilização de água, denominadas como construções hidráulicas. Para o dimensionamento de um reservatório, devem-se realizar levantamento de dados de séries históricas, como de vazões máximas em período estipulado a partir do porte da obra a ser implantada. Para o dimensionamento de vertedouros de grandes barragens, é preciso adotar um período retorno elevado (maior ou igual a 10.000 anos) para que o resultado seja o mais realista possível (LOURENÇO, 2006).

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo analisar valores de vazões para diferentes tempos de retorno para a barragem de Pedras Altas, situada no município de Capim Grosso



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
17 a 19 de novembro de 2020

– BA, por meio do levantamento de dados de séries históricas e aplicação de métodos empíricos estatísticos de análise de frequência, como Gumbel, Log Pearson III, Pearson III e Log Normal III e Exponencial.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1 CHEIAS, INUNDAÇÕES E ESTUDO HIDROLÓGICO

A ocorrência de cheias tem grande influência em projetos de estruturas hidráulicas, principalmente em uma barragem, pois é no período de cheias que ocorrem riscos de acidentes, podendo provocar danos de grande proporção comprometendo a vida de pessoas e animais, riscos ao meio ambiente e problemas no fornecimentos aos serviços essenciais como de energia e saneamento básico (BALBI, 2011).

As obras hidráulicas, como por exemplo, as barragens, são criadas no intuito de auxiliar no controle do fluxo para evitar possíveis inundações. Uma das principais funções a ser destacada em uma barragem é a regularização da vazão para abastecimento humano e controle de cheias (VIEIRA, 2013).

A cheia é um fenômeno hidrológico, com frequência variável, que pode ocorrer de forma natural por precipitações intensas e contínuas ou artificial induzida por ação humana, como por exemplo o erro de operação de comportas de vertedouros de barragens (RAMOS, 2013).

A elevação da vazão em rios e reservatório das barragens nos períodos de cheias podem provocar inundações que comprometem a região próxima à localidade do evento. Segundo dados da Organização das Nações Unidas - ONU (2002), as inundações procedentes de cheias, tem maior impacto humano e econômico comparado a outros desastres naturais.

As inundações são frequentes no Brasil, conforme dados do EM-DAT (2014) e está entre os países mais atingidos por inundações no mundo, com grande número de pessoas afetadas e de mortes registradas. Do ano de 1948 até 2007, foram contabilizados 90 eventos de inundações com 5.905 mortes, atingindo 13 milhões de pessoas e perda de 4,6 bilhões de dólares no Brasil (EM-DAT, 2007).

Na elaboração do dimensionamento dos projetos, levam-se em conta os valores de vazões máximas levantadas em período adequado para cada sistema. Em barragens, deve-se adotar um grande intervalo de tempo, pois elas possuem grande risco potencial de causar sérios danos ao vale a jusante, por conta do acúmulo do grande volume, seja de água ou rejeito, encontrado em seu reservatório (BALBI, 2011).

O estudo hidrológico é uma essencial ferramenta para implantação de obras relacionadas à captação, armazenamento, transporte e utilização de água, denominadas como construções hidráulicas. Segundo Lourenço (2006), os riscos hidrológicos estão relacionados precipitações intensas e contínuas com possibilidade de gerar riscos de enchentes e inundações, onde quando se trata de reservatórios criados a partir de barramentos, nos tempos de fortes chuvas, é gerado um escoamento significativo na bacia hidrográfica, implicando rápida elevação da vazão afluente de um reservatório.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
17 a 19 de novembro de 2020

Para o dimensionamento de um reservatório, devem-se analisar os critérios de níveis e volumes e através de estudos hidrológicos, realizar levantamentos de vazões máxima em um determinado período de retorno, estipulado a partir do porte da obra a ser implantada.

O período de retorno é o tempo onde um evento hidrológico, nesse caso a máxima vazão, pode ser igualada ou superada. Segundo Watanabe (2013), para o dimensionamento de vertedouros de grandes barragens, é preciso adotar um período retorno elevado (maior ou igual a 10.000 anos) para que o resultado seja o mais realista possível, visto que uma falha sequer pode ser de grande preocupação.

Segundo Vestena (2008), com o estudo da hidrologia é possível prevenir fenômenos relacionados a acidentes naturais quando se compreende os elementos que formulam as cheias e inundações, sendo importante a modelagem de bacias visando zonestar as áreas de riscos e implantação de sistemas de alertas.

A Agência Nacional de Águas – ANA que é o órgão principal de acompanhamento dos recursos hídricos no Brasil, coordena uma rede Hidrometeorológica Nacional, onde com o auxílio dos estados, coletam informações acerca do nível, vazão e sedimentos dos rios ou quantidades de chuvas, informações que tem como intuito o planejamento do uso da água e evitar períodos críticos tanto de secas quanto de cheias e inundações (ANA, [200-]).

Através do site da ANA, é possível obter informações sobre séries históricas de precipitações, vazões e dados climáticos das estações pela plataforma HIDROWEB. Com o levantamento desses dados é possível através de métodos empíricos estatísticos ou de modelagem computacional, fazer a determinação de vazão máxima de acordo com o período de retorno estipulado e assim dimensionar os sistemas corretamente, evitando futuramente possíveis riscos.

## 2.2 BARRAGENS E SUAS FUNCIONALIDADES

As barragens são elementos estruturais com finalidade de reter volumes, construídas a partir de barramentos transversais ao escoamento de um rio (MARANGON, 2004), com propósito de criação de um reservatório artificial para abastecimento e irrigação, operação de hidrelétricas ou armazenamento de rejeitos oriundos da extração de mineração.

As barragens são construídas para atender diversas funcionalidades e são classificadas pelos materiais que a constituem e pelos órgãos responsáveis por fiscalizar o volume do reservatório, as categorias de riscos e possíveis danos potenciais associados que possam ocorrer, como rompimentos, vazamentos, mau funcionamento ou infiltração no solo (BRASIL, 2012).

Segundo a International Commission on Large Dams - ICOLD, as barragens podem ser classificadas como de gravidade, de arco, de contrafortes e de aterro. Em uma barragem existem muitos componentes para garantir o seu funcionamento, como o reservatório, vertedouro, estrutura de descarga e unidade de controle, onde para garantir a sua funcionalidade, devem cumprir com exigências técnicas e administrativas (ICOLD, 2008).



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 17 a 19 de novembro de 2020

A principal função do reservatório é o armazenamento de água oriunda da vazão afluyente e precipitações que são periodicamente monitoradas pelas regras de operação. De acordo com Mees (2018), os reservatórios são compostos por três volumes (níveis) diferentes, o volume morto, o volume útil e o volume de espera.

O Volume Morto é quando o nível está abaixo do mínimo para operação, sendo assim, não deveria ocorrer captação de água, o Volume Útil é a parte com disponibilidade de atendimento das demandas solicitadas e Volume de Espera que é destinado ao controle e amortecimento de cheias, onde está relacionado com a capacidade máxima que o vertedor tem possibilidade de escoar (VIEIRA, 2018).

Atingindo a capacidade máxima no volume de espera, a lâmina d'água é direcionada pelo vertedor, uma estrutura hidráulica que tem como função controlar grandes volumes de água, garantindo segurança às barragens e as tomadas de decisão de operação, caso a descarga excedente não seja totalmente vertida, ocorre o extravasamento pelo maciço da barragem que pode resultar no galgamento (MEES, [200-]).

A estrutura de descarga geralmente é um grande túnel ou condutos de água e comportas que tem como função manter os níveis operacionais estáveis e de comandar a vazão juntamente com a unidade de controle que gerenciam os níveis do reservatório (VIEIRA, 2013).

De acordo com o levantamento da ANA (2019), na Bahia existem 335 barragens cadastradas, sendo que a maioria são barragens de terra e tem função de abastecimento de água e em seguida estão as com função de irrigação.

### 2.3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA DETERMINAÇÃO DE VAZÃO MÁXIMA E ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

Os métodos estatísticos são importantes ferramentas para determinação de vazões máximas na implantação de obras hidráulicas. De acordo com Meyer (1970), as estatísticas descritivas de uma amostra aleatória referente a dados hidrológicos, são medidas relativamente simples e econômicas, onde são utilizados como parâmetros a média, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria, conforme indicadas na tabela 1.

Tabela 1 - Estatísticas amostrais e respectivas fórmulas de cálculo

Designação	Tipo	Notação	Fórmula cálculo ou conceito	Interpretação
Média	Tendência Central	$\bar{X}$	$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$	Abcissa do centro geométrico do histograma
Desvio - padrão	Dispersão	$S_x$	$s_x = \sqrt{S^2 x}$	Raiz quadrada do desvio quadrático médio
Coeficiente de Assimetria	Assimetria	$g$	$g = \frac{N^2 m_3}{(N - 1) \cdot (N - 2) \cdot (S_x)^3}$	Coeficiente admisional

Fonte: (NAGHETTINI e PORTELA, 2011)



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
17 a 19 de novembro de 2020

A amplitude consiste na diferença entre o valor mais alto e o mais baixo de um determinado conjunto de dados, ou seja, é uma medida rápida da variabilidade (DEVMEDIA, 2012). Na hidrologia, o período de retorno é utilizado em estudo probabilístico de acontecimentos máximos anuais, seja precipitações ou vazões. Como possui variáveis aleatórias contínuas, possui comportamento definido por funções de densidade de probabilidade designada por  $f(x)$  X (NAGHETTINI e PORTELA, 2011).

Segundo Watanabe (2013), para determinar o período de retorno no cálculo de vazão de cheias, no Brasil se utiliza um critério baseado nas experiências do projetista, em fixação de risco ou critério econômico. O período de retorno é uma importante variável nesse estudo, pois através dele, é possível prever a recorrência em que ocorre as cheias com maior intensidade.

O tempo de recorrência é dado pela equação abaixo, onde  $x_p$  é vazão de cheia de projeto e o  $T_r$  é o intervalo em anos.

$$P\{X \geq x_p\} = \frac{1}{T_r} \quad eq. (1)$$

Para previsão de picos de cheias, que são as vazões de projeto, deve-se utilizar métodos de probabilidade estatística. Segundo Pinto e Naghettini (2007), os métodos estatísticos mais utilizados para análise de período de retorno de vazões máximas, são:

- Distribuição Normal e Log-Normal ou de Galton;
- Distribuição de Gumbel ;
- Distribuição Pearson III;
- Distribuição Log-Pearson III ;
- Generalizada de Valores Extremos (GEV Distribuição Gaussiana).

De acordo com Naghettini e Portela (2011), as distribuições Normal e Log-Normal são frequentemente aplicáveis para dados anuais de precipitação e escoamento, a distribuição de Gumbel para máximos, Pearson III, Log-Pearson III e GEV, podem ser aplicadas a valores extremos máximos de precipitações máxima anuais com duração estipulada ou caudais instantâneos, ou seja, vazões máximas anuais e Gumbel para mínimos e Weibull são aplicados a valores mínimos, como em períodos de estiagem e vazões médias diárias.

### 3. Metodologia

Esse projeto é classificado como uma pesquisa descritiva com dados quantitativos, que tem como propósito registrar e descrever determinado fenômeno utilizando coleta de dados e quantificá-los através de técnicas estatísticas (PRODANOV e FREITAS, 2013). Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia desse trabalho será estruturada em cinco etapas.

A primeira etapa consiste basicamente numa revisão de literatura sobre temas relevantes para a pesquisa, como o conceito de estudo hidrológico, vazões máximas, análise de frequência de séries diárias e modelos estatísticos. Na segunda etapa foi realizada a caracterização do município de Capim Grosso/BA, onde a barragem de Pedras Altas (figura 1) está situada, que por sua vez, foi escolhida em função da disponibilidade de dados.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 17 a 19 de novembro de 2020

A obra da barragem foi realizada pela Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia – Cerb na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru com conclusão no ano de 2001. Possui extensão de 1.110 m por 23 m de altura, tem um extravasor no trecho central em concreto compactado a rolo com fechamento lateral das ombreiras em maciço de terra, torre de tomada d'água, casa de controle e galeria de descarga de fundo (CERB, [200-]).

Figura 1 - Esquematização da bacia do Rio Itapicuru



Fonte: (VIEIRA, 2013)

Na terceira etapa, foi feito o levantamento de dados de séries históricas de vazões diárias ao longo de 30 anos (1988 a 2018) no banco de dados HIDROWEB no site da Agência Nacional de Águas – ANA. Esse portal é uma importante ferramenta no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e contém todas informações de dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, clima, qualidade de água e sedimentos e são coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

Inicialmente, foram escolhidas duas estações fluviométricas para coleta de dados, a estação 50420000 – Jacobina e estação 50430000 – Pedras Altas e quando comparadas, a estação de Jacobina possuía muitas falhas em períodos chuvosos, assim a disponibilidade de dados da estação Pedras Altas era maior. A estação é do tipo convencional e está situada na própria barragem de Pedras Altas.

Com o levantamento de dados obtidos anteriormente, inicia-se a quarta etapa, onde foi realizado o tratamento dos dados. Com auxílio do aplicativo Microsoft Excel, foi construída uma planilha eletrônica para lançamento de dados diários de vazão no período de 01/01/1988 a 31/12/2018, onde foi calculado a média e máxima vazão ocorrida em cada mês nesse intervalo de 30 anos.

Em seguida, foi determinado a máxima vazão anual para 1 dia, ou seja, a máxima vazão que ocorreu durante o período de um ano e depois calculado vazões acumulativas para 10, 20 e 30 dias. Para essa pesquisa foram desconsiderados os anos que apresentaram falhas em períodos chuvosos.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 17 a 19 de novembro de 2020

Nessa etapa, são feitos os lançamentos dos dados de vazões máximas de período completo (1989 a 2018) e determinação de parâmetros como média, desvio padrão e assimetria, que serão necessários nas aplicações dos métodos estatísticos para determinação de vazões de projeto para diferentes períodos de retorno.

Quando inseridos os dados de vazões máximas, organizou-se em ordem decrescente (da maior vazão para menor) e determinou-se o logaritmo natural (ln) de cada um deles. Foram feitas análises para vazões máximas de 1 dias e para vazões acumulativas de maior duração, ou seja, de 10, 20 e 30 dias.

Posteriormente, esses dados foram aplicados nos métodos estatísticos para determinação de vazões máximas, através da análise de frequência para verificação do número de vezes que um evento hidrológico pode ser igualado ou superado em diferentes períodos de retorno, esse estudo foram determinados em 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.

Para isso, foram utilizados métodos estatísticos (Exponencial, Gumbel, Log Normal, GEV, Pearson III e Log Pearson III) com o propósito de analisar qual modelo que melhor se ajusta aos dados de vazão coletados pela plataforma da HIDROWEB, no site da Agência Nacional de Águas – ANA.

Por último, na quinta etapa, foram feitas análises e discussões dos resultados obtidos nas etapas anteriores, na qual foram comparadas as diferentes vazões máximas obtidas para diferentes tempos de retorno.

#### 4. Resultados

Com a coleta de dados diários de vazão durante o período de 30 anos da estação fluviométrica de Pedras Altas (tabela 2) e com auxílio da ferramenta Microsoft Excel foi possível determinar a máxima vazão mensal e consecutivamente a máxima vazão anual (1 dia) que nada mais é que maior vazão que ocorreu durante o período de um ano e depois calculado vazões acumulativas para 10, 20 e 30 dias. Para essa pesquisa, o ano de 2007 e 2014 foram desconsiderados por apresentarem falhas em períodos chuvosos (anos em vermelho).

Tabela 2 - Dados de vazões anuais

Ano Hidrológico		Dias	1 Dia	10 Dias	20 Dias	30 Dias
1988	1989	365	8,226	71,225	126,654	156,305
1989	1990	365	13,242	119,108	202,342	252,942
1990	1991	365	7,516	41,06	67,347	92,099
1991	1992	366	39,347	333,67	507,167	638,881
1992	1993	365	6,424	40,719	56,941	74,988
1993	1994	365	55,308	304,543	386,487	404,686
1994	1995	365	29,964	171,357	206,27	214,028
1995	1996	366	7,562	77,007	113,105	127,961
1996	1997	365	176,131	1152,427	1412,743	1689,946
1997	1998	365	6,099	30,1	39,808	44,275
1998	1999	365	13,925	59,235	63,921	66,099
1999	2000	366	26,138	145,959	231,558	273,258



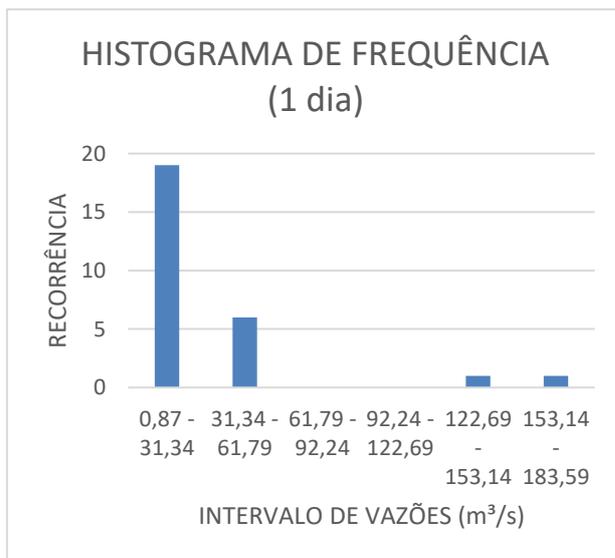
II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 17 a 19 de novembro de 2020

2000	2001	365	10,343	55,957	76,79	105,145
2001	2002	365	139,874	607,777	895,652	1053,882
2002	2003	365	2,84	12,287	17,666	26,163
2003	2004	366	56,983	444,504	645,935	735,879
2004	2005	365	5,664	45,303	74,975	99,703
2005	2006	365	36,158	276,329	483,561	656,243
2006	2007	365	41,862	296,448	457,03	534,634
2007	2008	366	1,157	10,73	21,46	32,19
2008	2009	365	1,555	15,55	29,911	43,091
2009	2010	365	1,286	12,86	25,72	38,58
2010	2011	365	36,344	158,892	202,213	257,349
2011	2012	366	0,886	4,767	8,28	12,42
2012	2013	365	4,33	42,14	61,027	63,479
2013	2014	365	3,214	26,344	49,765	68,155
2014	2015	365	21,67	185,221	318,158	486,447
2015	2016	366	57,253	316,87	403,779	429,72
2016	2017	365	3,878	37,8	75,6	111,456
2017	2018	365	0	0	0	0

Em seguida, foi realizado a histograma de frequência, que consiste na representação gráfica da frequência em que uma variável aleatória ocorre em dado intervalo (TUCCI, 1993).

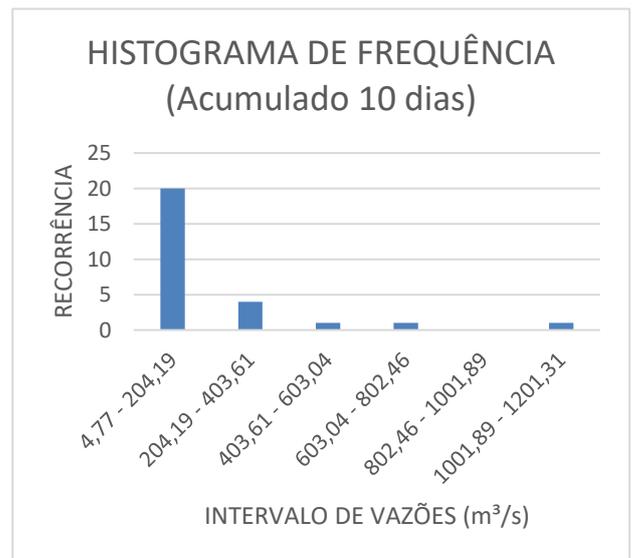
Primeiramente, foi determinado a amplitude dos dados, para obter os intervalos de vazões para elaboração do histograma de frequência.

Figura 2 - Histograma de frequência para 1 (um) dia



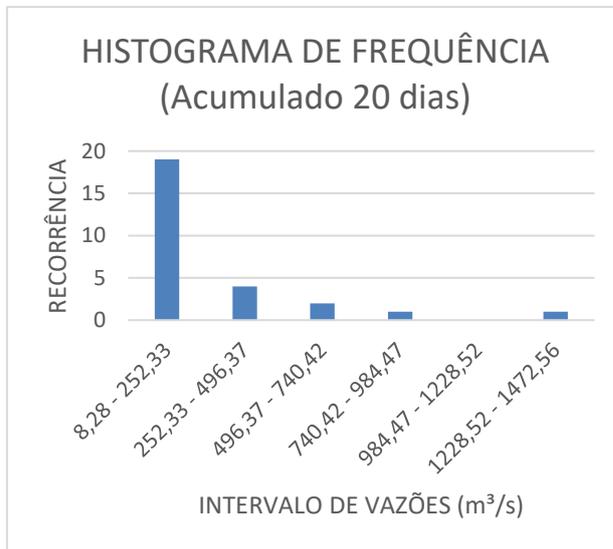
Fonte: Autor (2019)

Figura 3 - Histograma de frequência para 10 (dez) dias



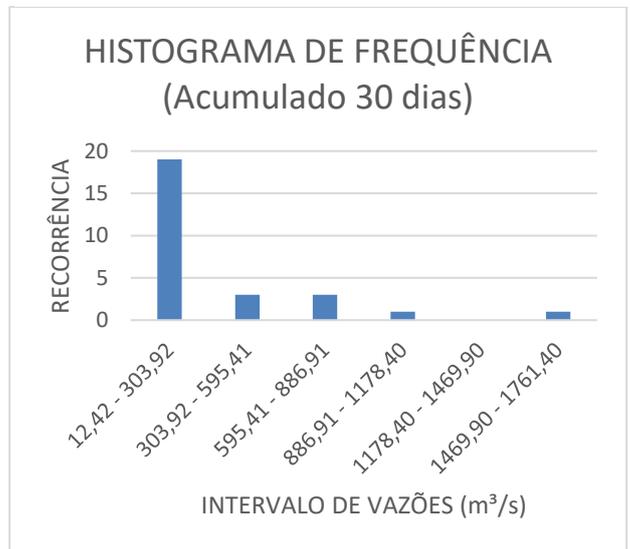
Fonte: Autor (2019)

Figura 4 - Histograma de frequência para 20 (vinte) dias



Fonte: Autor (2019)

Figura 5 - Histograma de frequência para 30 (trinta) dias



Fonte: Autor (2019)

Com os resultados do histograma de frequência com os dados máximos de vazão de 1 dia, é possível perceber que a maior recorrência está entre o intervalo de 0,086 m³/s à 31,34 m³/s e em seguida o intervalo de 31,34 m³/s à 60,77 m³/s. A determinação desses intervalos de recorrência é muito importante para decisão do dimensionamento, pois é a partir desses dados que se determina o tipo de estrutura a ser implantada, de forma que não seja nem subdimensionada a ponto de causar riscos, nem superdimensionada implicando em custos desnecessários.

Nos resultados obtidos na vazão acumulada em 10 dias, percebe-se que a maior recorrência ainda se encontra no primeiro intervalo 4,77 m³/s à 204,19 m³/s, porém, o gráfico de 1 dia apresenta no segundo intervalo 6 ocorrências, enquanto no gráfico de 10 dias apresenta 4 ocorrências.

Fazendo uma análise comparativa entre os resultados do histograma de frequência, pode-se verificar que o primeiro intervalo de vazões possui a maior ocorrência tanto em vazão de 1 dia, quanto nas vazões acumuladas. No primeiro gráfico não consta ocorrência no 3º intervalo, diferente das vazões acumuladas, onde por exemplo, em 30 dias há um aumento da recorrência desse evento hidrológico.

Após a realização da etapa acima, foram determinados os valores de média, desvio padrão e assimetria para cada dia. Em seguida, foi aplicado os métodos estatísticos para determinação de vazões máximas para diferentes períodos de retorno.

Tabela 3 - Resultado da aplicação de métodos estatísticos para 1, 10, 20 e 30 dias

RESULTADO DA APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS (1 DIA)						
TR (anos)	Exponencial	Gumbel	LogNormal	GEV	Pearson III	LogPearson III
	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)
5	53,9	58,5	39,4	58,1	49,1	39,5
10	82,9	82,9	74,4	81,9	78,8	74,0



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 17 a 19 de novembro de 2020

15	99,8	96,7	105,4	95,2	99,1	100,9
20	111,8	106,4	125,5	104,5	110,4	124,0
25	121,1	113,8	146,2	111,6	120,9	144,1
30	128,7	119,8	169,8	117,4	131,8	162,0
50	150,0	136,7	226,2	133,5	154,4	221,4
100	178,9	159,4	335,0	155,0	189,3	324,4
200	207,8	182,0	479,9	176,2	225,4	461,0
500	246,1	211,9	741,7	203,9	274,9	706,0
1000	275,0	234,4	1006,6	224,6	313,5	947,0
5000	342,1	286,8	1923,9	271,9	406,8	1221,2
10000	371,0	309,3	2489,1	292,0	448,5	1677,1

**RESULTADO DA APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS (10 DIAS)**

TR(anos)	Exponencial	Gumbel	LogNormal	GEV	Pearson III	LogPearson III
	Q(m <sup>3</sup> /s)					
5	327,2	354,4	251,1	351,6	289,3	252,3
10	498,3	498,8	458,5	492,5	466,7	452,6
15	598,4	580,3	638,5	571,4	589,4	602,6
20	669,4	637,4	753,4	626,4	658,0	728,2
25	724,5	681,3	871,0	668,6	722,4	835,9
30	769,5	717,1	1004,0	702,8	789,3	930,9
50	895,6	816,7	1318,3	797,8	928,9	1238,4
100	1066,7	951,1	1913,8	924,9	1145,2	1753,0
200	1237,8	1085,0	2691,7	1050,4	1370,4	2409,4
500	1464,0	1261,6	4069,3	1214,2	1680,4	3535,9
1000	1635,1	1395,1	5437,9	1336,7	1923,7	4599,4
5000	2032,4	1705,0	10057,9	1616,8	2514,9	5770,5
10000	2203,5	1838,4	12843,6	1735,6	2780,0	7648,7

**RESULTADO DA APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS (20 DIAS)**

TR(anos)	Exponencial	Gumbel	LogNormal	GEV	Pearson III	LogPearson III
	Q(m <sup>3</sup> /s)					
5	445,6	480,9	360,5	477,2	424,8	361,5
10	667,9	668,5	638,0	660,3	649,1	633,2
15	797,9	774,4	873,5	762,8	799,3	834,0
20	890,2	848,5	1021,9	834,2	882,0	1001,0
25	961,7	905,6	1172,6	889,1	958,9	1143,6
30	1020,2	952,0	1341,8	933,6	1038,2	1269,0
50	1184,0	1081,5	1737,2	1056,9	1202,0	1672,8
100	1406,3	1256,0	2473,8	1222,1	1452,1	2343,8
200	1628,5	1430,0	3418,6	1385,1	1708,8	3194,3
500	1922,4	1659,4	5059,1	1597,9	2057,6	4645,2
1000	2144,6	1832,9	6660,0	1757,0	2328,2	6009,1
5000	2660,7	2235,4	11933,2	2120,9	2977,6	7506,8
10000	2883,0	2408,7	15047,1	2275,2	3265,7	9903,7

**RESULTADO DA APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS (30 DIAS)**



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 17 a 19 de novembro de 2020

TR(anos)	Exponencial	Gumbel	LogNormal	GEV	Pearson III	LogPearson III
	Q(m <sup>3</sup> /s)					
5	536,3	578,4	433,9	574,1	513,1	432,7
10	801,5	802,2	749,4	792,4	780,2	753,0
15	956,6	928,5	1012,2	914,7	958,8	991,3
20	1066,6	1016,9	1176,2	999,9	1057,0	1190,6
25	1152,0	1085,0	1341,7	1065,3	1148,2	1361,6
30	1221,7	1140,4	1526,4	1118,4	1242,4	1512,5
50	1417,1	1294,8	1954,5	1265,5	1436,7	2002,2
100	1682,2	1503,0	2741,3	1462,5	1733,3	2826,7
200	1947,3	1710,5	3736,0	1656,9	2037,3	3889,2
500	2297,8	1984,2	5436,5	1910,8	2450,2	5739,9
1000	2562,9	2191,1	7072,8	2100,6	2770,4	7516,7
5000	3178,6	2671,2	12359,3	2534,6	3538,2	9503,4
10000	3443,7	2877,9	15429,8	2718,7	3878,7	12749,5

Figura 6 - Gráfico comparativo entre os métodos estatísticos para 1 (um) dia

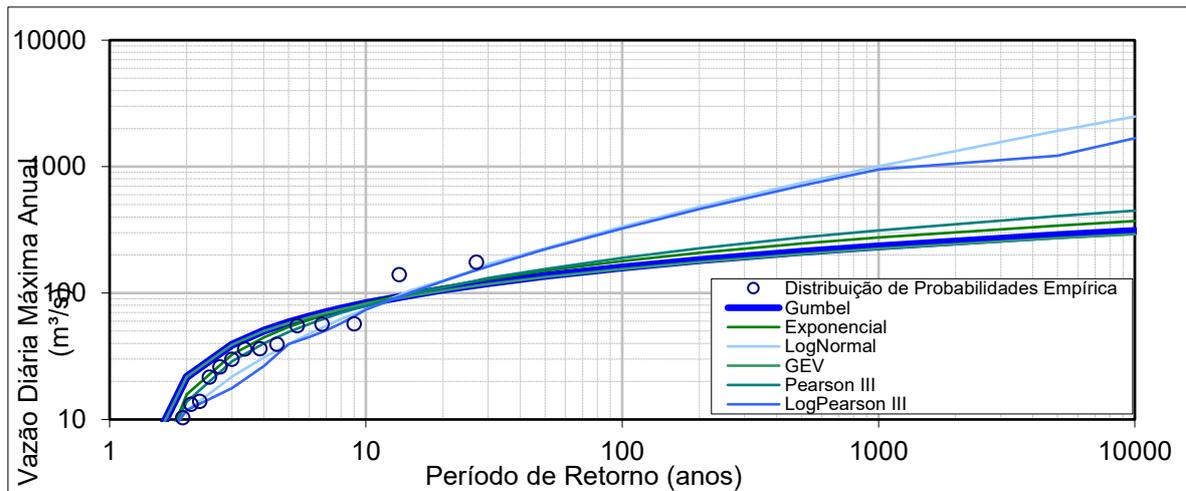


Figura 7 - Gráfico comparativo entre os métodos estatísticos para 10 (dez) dias

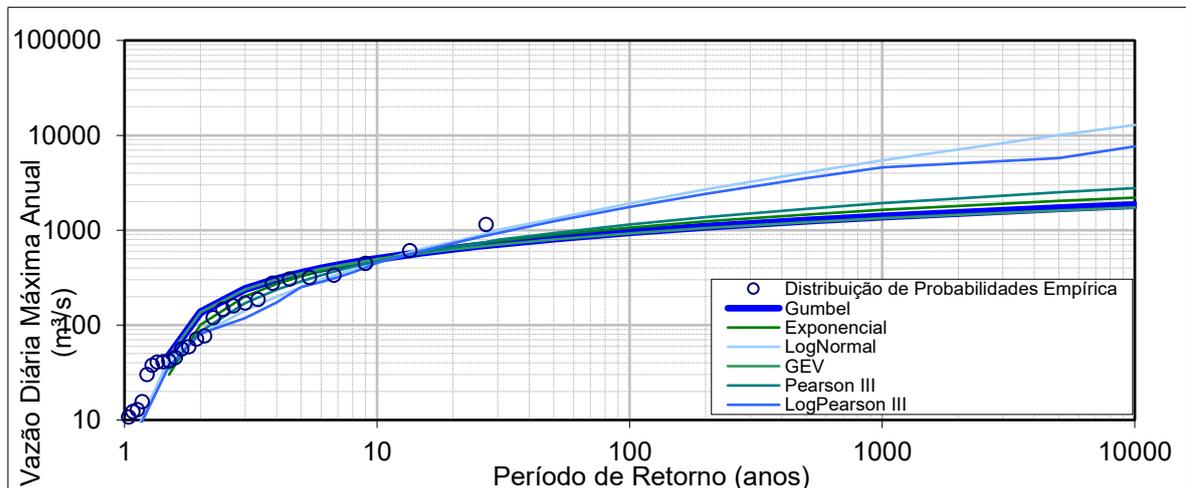


Figura 8 - Gráfico comparativo entre os métodos estatísticos para 20 (vinte) dias

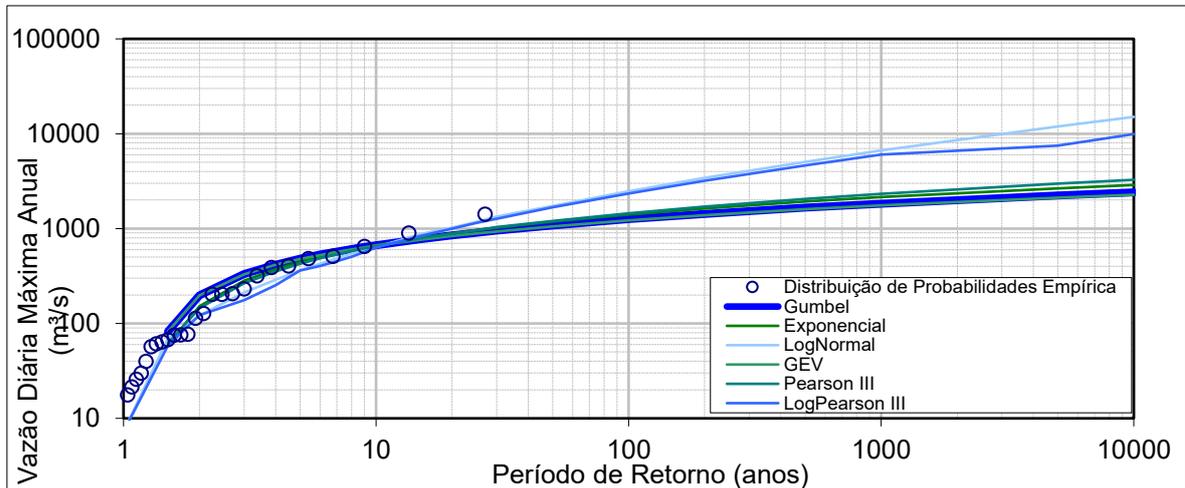
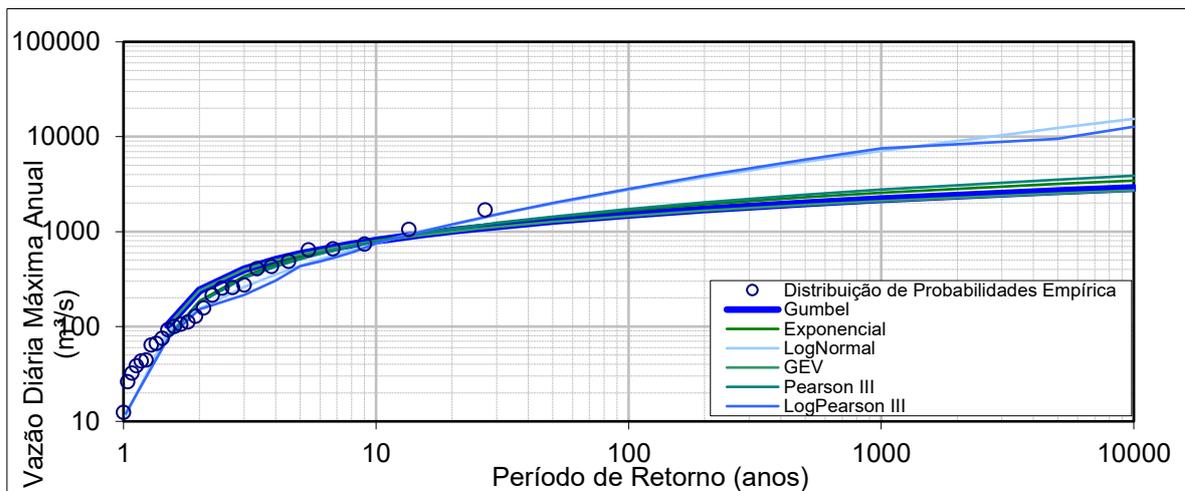


Figura 9 - Gráfico comparativo entre os métodos estatísticos para 30 (trinta) dias



- Na Figura 6, representando amostras de vazões máximas anuais para 1 (um) dia, temos duas distribuições que melhor se ajustou às amostras, sendo elas a Exponencial e Pearson III;
- Na Figura 7, representando amostras de vazões máximas anuais para 10 (dez) dias acumulados, temos duas distribuições que melhor se ajustou às amostras, sendo elas a Exponencial e Log Normal;
- Na Figura 8, representando amostras de vazões máximas anuais para 20 (vinte) dias acumulados, temos duas distribuições que melhor se ajustou às amostras, sendo elas a Exponencial e Log Pearson III;
- Na Figura 9, representando amostras de vazões máximas anuais para 30 (trinta) dias acumulados, temos duas distribuições que melhor se ajustou às amostras, sendo elas a Exponencial e Log Normal;



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
17 a 19 de novembro de 2020

Assim, como demonstram os resultados gráficos é possível observar que de modo geral, a distribuição que melhor se ajustou para as amostras de 1, 10, 20 e 30 dias foi a distribuição Exponencial. Além disso, para tempos de retorno maiores, notou-se uma maior dispersão entre os dados, chegando a diferenças de mais de 1000 m<sup>3</sup>/s em algumas durações.

A exemplo, a análise de frequência feita para 30 dias, considerando o TR igual a 100 anos, observa-se que a distribuição de Log Pearson III se ajusta melhor tanto para tempos de recorrência menores quanto para maiores, tendo uma diferença de quase 50% da distribuição de Gumbel, que geralmente é mais utilizada para esses fins.

Para implantação e dimensionamento de obras hidráulicas, devem ser analisados esses resultados com maior precisão e critérios, pois à medida que seja utilizada uma distribuição para um determinado TR e calculada uma vazão máxima, essa pode ser superestimada ou subestimada, podendo superar a crista da barragem, galgar e ocorrer diversos diversos fenômenos, como enchentes e inundações.

## 5. Conclusões

Nesse projeto, todos os dados coletados de vazões máximas anuais puderam ser aplicados nas seis distribuições escolhidas para estimar a vazão máxima em diferentes períodos de retorno, onde foi confirmado a partir da não rejeição de todas distribuições aplicadas.

Em relação às análises teóricas, percebeu-se que não há determinação de uma distribuição ideal para execução de análise de frequência e nem ao certo uma metodologia para definir qual distribuição melhor se adequa as amostras coletadas, de forma que como não existe um padrão a ser seguido, os resultados podem variar a cada estudo.

Com os resultados desse estudo, foi possível concluir que a distribuição Exponencial foi a que melhor se ajustou em relação a aderência amostral, porém é importante afirmar que as outras distribuições aqui utilizadas também foram válidas para determinação de vazões máximas para diferentes períodos de retorno, através da análise de frequência das amostras.

Diante de todos os resultados e análises, percebe-se a necessidade de estudos aprofundados e a determinação de critérios adequados para utilização e escolha do método estatístico, pois a depender da escolha, as estruturas hidráulicas podem armazenar menos ou mais vazão do que o necessário, afetando a segurança do empreendimento, podendo acarretar aumentar os riscos e a probabilidade de ocorrência de diversos impactos e atingir a população, o meio ambiente, sistemas econômicos etc.

Além disso, recomenda-se também estudos de enchentes e inundações na região para diferentes períodos de retorno a jusante do barramento, como também a quantificação de incertezas em todo processo.

## 6. Agradecimentos

Agradeço aos orientadores Luan Marcos da Silva Vieira e Jonatas Fernandes Araújo Sodrê pelas contribuições para realização desse trabalho e a Faculdade Maria Milza pelo apoio.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
17 a 19 de novembro de 2020

## 7. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Brasília: 2013. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em 13 mar. 2019.

BALBI, Diego Antonio Fonseca. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens. Estudo de caso: Barragem De Peti – MG**. 2008. 353 f. Dissertação (Programa De Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais.

BRASIL. **Política Nacional de Segurança de Barragens, nº 12.334**. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm)>. Acesso em 01 de out de 2019.

CERB, **Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia**. Disponível em <<http://www.cerb.ba.gov.br>>. Acesso em 06 abr. 2019.

EM-DAT, The International Disaster Database. Disponível em <<https://www.emdat.be/>>. Acesso em 16 abr. 2019.

HIDROWEB. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Agência Nacional das Águas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em 20 de agosto. de 2019.

ICOLD. **International Commission on Large Dams**. Disponível em <<https://www.icold-cigb.org/>>. Acesso em 12 de set. 2019.

LOURENÇO, Luciano. **Riscos naturais, antrópicos e mistos**. Notas, Notícias e Recesões. III Encontro Nacional de Riscos. In: Rev. Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança – Territorium. Mafra, pp. 109-113, 2006.

MARANGON, M.. **Barragens de Terra e Enrocamento**. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot\\_unid05.pdf](http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid05.pdf)>. Acesso em: 22 mar. 2019.

MEES, Alexandre. **Qualidade de água em reservatórios**. Disponível em <[https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/74/2/Unidade\\_1.pdf](https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/74/2/Unidade_1.pdf)>. Acesso em 20 de agosto de 2019.

MEYER, Paul L. **Probabilidade: aplicações à Estatística**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1970.

NAGHETTINI, Mauro; PORTELA, Maria Manuela. **Probabilidade E Estatística Aplicadas à Hidrologia**. DECivil, IST, 2011.

ONU, **Organizações das Nações Unidas**. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

PRODANOV, C.C.; DE FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª edição. Editora Universidade Feevale. Rio Grande do Sul, 2013.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
17 a 19 de novembro de 2020

RAMOS, Catarina. **Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações.** Disponível em: <<http://recil.grupolusofona.pt/handle/10437/5308>>. Acesso em: 12 set. 2019.

TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, 952 p. 1993.

VESTENA, Leandro Redin. **A importância da hidrologia na prevenção e mitigação de desastres naturais.** *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, Guaruva, v. 4, n. 1, p.151-162, abr. 2008.

VIEIRA, Gustavo Rodrigues. **Avaliação das cheias afluentes ao reservatório de Pedras Altas – Ba.** 2018. 58F. Monografia (Graduação em Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

VIEIRA, Luan M. da Silva. **Avaliação das regras de operação do reservatório da barragem de Pedras Altas, Rio Itapicuru-Ba.** 2013. 61F. Monografia (Graduação em Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

WATANABE, Frederico Mamoru. **Análise do Método de Gumbel, para cálculo de vazões de dimensionamentos de vertedouros.** 2013. 89 F. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Carlos.