

# Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

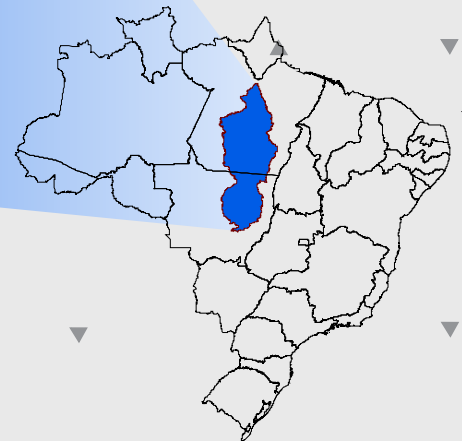
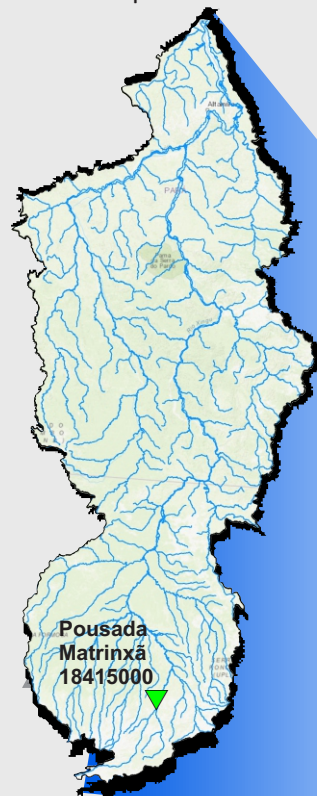
## Análise de Frequência de Cotas e Vazões dos Sistemas de Alerta

### Sistema de Alerta: Bacia do Rio Xingu

Rio Culuene em Pousada Matrinxã

Código: 18415000

Municípios Atendidos: Canarana - MT e Gaúcha do Norte - MT



2022

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**  
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE GOIÂNIA

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DE DESASTRES  
AÇÃO LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS  
HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

**PROJETO DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES NAS**  
**BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS**

## **ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE COTAS E VAZÕES**

### **DOS SISTEMAS DE ALERTA**

**Sistema de Alerta: Bacia do Xingu**

**Rio: Culuene**

**Estação Fluviométrica: Pousada Matrinxã**

**Código: 18415000**

**Municípios atendidos: Canarana-MT e Gaúcha do Norte-MT**

**Denise Christina de Rezende Melo**

**Eber José de Andrade Pinto**



**GOIÂNIA**

**2022**

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DE DESASTRES  
AÇÃO LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE  
EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

PROJETO DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES  
NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE COTAS E VAZÕES  
DOS SISTEMAS DE ALERTA

Executado pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM  
Superintendência Regional de Goiânia

Copyright @ 2022 CPRM - Superintendência Regional de Goiânia  
Rua 148, 485 – Setor Marista  
Goiânia- GO  
CEP: 74170-110  
Telefone: (62) 3240-1431  
Fax: (62) 3240-1417  
<http://www.cprm.gov.br>

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M528p Melo, Denise Christina de Rezende.  
Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas  
brasileiras: Análise de frequência de cotas e vazões dos sistemas  
de alerta: sistema de alerta Bacia do Rio Xingu, Rio Coluene:  
estação fluviométrica Pousada Matrinxã, código 18415000,  
municípios atendidos: Canarana, MT e Gaúcha do Norte, MT /  
Denise Christina de Rezende Melo, Eber José de Andrade Pinto.  
– Goiânia : CPRM, 2022.  
1 recurso eletrônico : PDF ; il.  
ISBN 978-65-5664-316-8

Programa Gestão de Riscos e de Desastres.  
Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos  
Hidrológicos Críticos.  
Projeto de Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas  
Brasileiras.

1. Hidrologia. 2. Recursos Hídricos. 3. Bacia do Xingu.  
4. Rio Culuene. I. Melo, Denise Christina de Rezende. II. Pinto,  
Eber José de Andrade. III. Título.

CDD 551.49

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Maria Gasparina de Lima CRB1- 1243

**Direitos desta edição: SGB/CPRM - Serviço Geológico do Brasil**

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

**MINISTRO DE ESTADO**

Adolfo Sachsida

**SECRETÁRIO EXECUTIVO**

Hailton Madureira de Almeida

**SECRETÁRIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Lília Mascarenhas Sant'Agostino

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB/CPRM**

**CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO**

**Presidente**

Lília Mascarenhas Sant'Agostino

**Vice-Presidente**

Cassiano de Souza Alves - Interino

**Conselheiros**

Antônio Simões Brando Júnior

Cassio Roberto da Silva

Fernando Antônio Freitas Lins

**DIRETORIA EXECUTIVA**

**Diretor-Presidente Interino**

Cassiano de Souza Alves

**Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Márcio José Remédio

**Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento**

Paulo Afonso Romano

**Diretor de Administração e Finanças**

Cassiano de Souza Alves

## **SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE GOIÂNIA**

*Sheila Soraya Alves Knust*  
**Superintendente**

*Vivian Athaides Canelo Fernandes*  
**Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial**

*Marcelo Ferreira da Silva*  
**Gerente de Geologia e Recursos Minerais**

*Wiliam Ribeiro de Padua*  
**Gerente de Infraestrutura Geocientífica**

*Alessandra Patrícia Diniz*  
**Gerente de Administração e Finanças**

## **REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES NAS BACIAS BRASILEIRAS**

**Departamento de Hidrologia**  
Frederico Cláudio Peixinho

**Divisão de Hidrologia Aplicada**  
Adriana Dantas Medeiros  
Achiles Monteiro (*In memorian*)

**Coordenação Executiva do DEHID**  
**Projeto de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras**  
Eber José de Andrade Pinto

### **Equipe Executora**

Denise Christina de Rezende Melo – SUREG/GO  
Francisco Fernando Noronha Marcuzzo – SUREG/PA  
Múcio Valença Virões – SUREG/RE  
Myrla de Souza Batista Vieira – SEDE  
Paula Kristhina Cordeiro Freire – REFO

### **Sistema de Informações Geográficas e Mapa**

Ivete Souza do Nascimento – SUREG/BH

## APRESENTAÇÃO

O projeto Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras é uma iniciativa dentro do programa de Gestão de Riscos e de Desastres que tem por objetivo ampliar o conhecimento sobre a disponibilidade hídrica no território nacional, bem como, sobre a frequência de ocorrência das vazões e/ou das cotas.

O conhecimento da disponibilidade de água doce de uma bacia hidrográfica é o principal instrumento de gestão de recursos hídricos, com base no qual pode ser concedido de forma adequada e sustentável o direito de uso deste bem, seja para fins energéticos, de irrigação, de abastecimento e outros. Além disto, o conhecimento da frequência é uma informação útil para o planejamento nos setores elétrico, agrícola, abastecimento público e na adoção de políticas públicas.

Dentre os objetivos da ação dos Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos, destaca-se a realização de estudos de análise de frequência local das séries históricas de vazões máximas ou cotas máximas das estações fluviométricas.

A análise de frequência possibilita a determinação das vazões máximas ou cotas máximas associadas a uma probabilidade de ser igualada ou superada. Os resultados da análise, ou seja, os quantis serão utilizados como valores de projeto no dimensionamento de diversas estruturas hidráulicas ou de aproveitamento dos recursos hídricos. Esta análise estatística também pode ser utilizada de forma inversa, ou seja, estimar a frequência de um evento de cheia ocorrido, definindo se o evento foi raro ou ordinário. Tipo de informação que é bastante útil para sistemas de alerta de cheias que poderão divulgar, além das previsões e dos valores observados, a raridade do evento acompanhado.

Este estudo apresenta os resultados das análises de frequência das cotas e vazões máximas observadas no Rio Culuene, especificamente na estação fluviométrica Pousada Matrinxã, código 18415000. Esta estação fluviométrica faz parte do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da bacia do rio Xingu e constitui um ponto de acompanhamento das vazões e cotas em terras dos municípios de Canarana e Gaúcha do Norte, no Estado de Mato Grosso.

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO .....	01
2 – METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL.....	07
3 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL.....	09
4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	12
5 – REFERÊNCIAS.....	14
ANEXO I .....	15
ANEXO II .....	19
ANEXO III .....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa da bacia do Rio Xingu

Figura 02 – Localização das estações fluviométricas do SACE Rio Xingu

Figura 03 – Localização da estação fluviométrica de Pousada Matrinxã

Figura 04 – Perfil da seção transversal do Rio Culuene na estação de Pousada Matrinxã

Figura 05 – Ajuste das distribuições empírica e teórica para as séries de cotas

Figura 06 – Ajuste das distribuições empírica e teórica para as séries de vazões

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Cotas em cm, associadas a diferentes tempos de retorno

Tabela 02 – Vazões em m<sup>3</sup>/s, associadas a diferentes tempos de retorno

## ANEXOS

Anexo I – Ficha Descritiva da Estação Fluviométrica

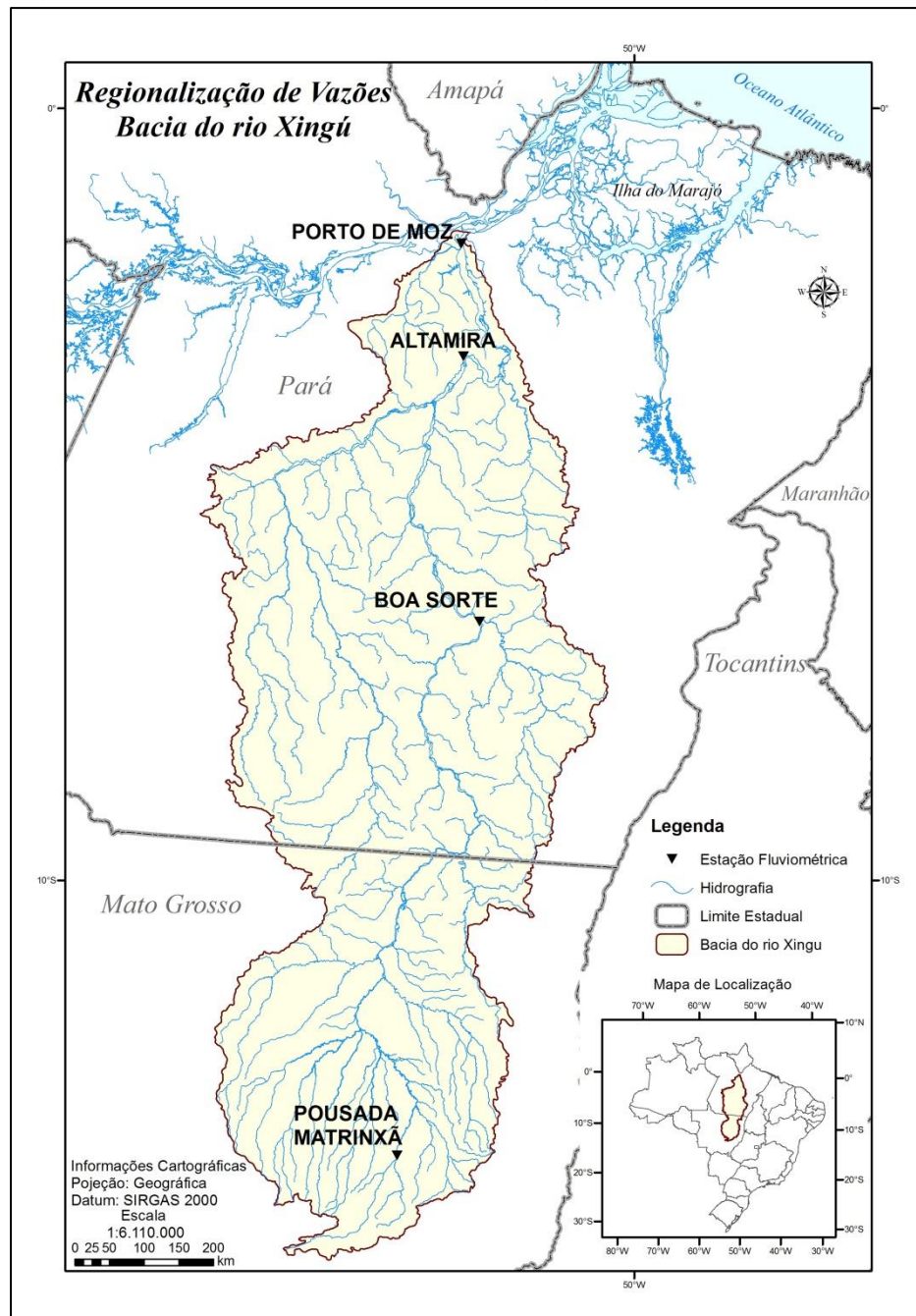
Anexo II – Distribuições Candidatas

Anexo III – Série de dados utilizados, Estatísticas da série, Parâmetros das curvas-chaves

# 1 – INTRODUÇÃO

A bacia do Rio Xingu está situada entre as regiões Centro-Oeste e Norte e tem uma extensão de 531.250 km<sup>2</sup>. Dois terços da bacia se localizam no Estado do Pará, e o restante no Estado do Mato Grosso. O mapa da bacia do Rio Xingu está apresentado na Figura 01.

Figura 01 – Mapa da bacia do Rio Xingu



Fonte: Elaborada pela DHT/SUREG-BH



O Rio Xingu é o quarto maior tributário do Amazonas, tem quase 2500 km de extensão e contribui com cerca de 4% da descarga anual do rio Amazonas, cujo valor é de 131.947 m<sup>3</sup>/s, segundo dados da ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2007). A confluência do Rio Xingu com o Rio Amazonas localiza-se a cerca de 420 km do Oceano Atlântico. Contudo, a influência de marés oceânicas pode ser verificada até 100 km dentro do Rio Xingu. A maior parte da bacia do Rio Xingu se localiza dentro da região de floresta amazônica, mas as cabeceiras se localizam em regiões dominadas por savanas arbustivas. A estação chuvosa na maior parte do Xingu ocorre de dezembro a maio, período em que o nível do rio atinge seu pico máximo (ÁGUAS AMAZONICAS, 2022).

O Rio Xingu nasce no encontro das Serras Formosa e do Roncador e está dividido basicamente em três compartimentos: Alto Xingu, Médio Xingu e Baixo Xingu. No Alto Xingu seus formadores são: o Rio Ferro, o Rio Culuene e o Rio Sete de Setembro. Entra no Parque Indígena do Xingu, onde recebe outros importantes afluentes como o Suiá-Miçu, Manissaua-Miçu e Arraias. No Médio Xingu, recebe entre outras, as contribuições do Rio Fresco, no município de São Félix do Xingu, e mais a jusante, do Rio Iriri, o afluente mais importante do Rio Xingu. No Baixo Xingu, o rio recebe a contribuição de outro grande afluente, o Rio Bacajá, e após um trecho com muitas corredeiras, se abre em um lago, até sua foz na margem direita do Rio Amazonas, na cidade de Porto de Moz.

As bacias amazônicas convivem anualmente com eventos de cheia, já conhecidos e esperados pelas populações ribeirinhas. No entanto, a ocupação desordenada do território leva a construção de habitações em áreas vulneráveis a inundações. Diante dessa situação, qualquer evento que supere os níveis médios das cheias anuais é um potencial causador de danos. A bacia do Rio Xingu também se enquadra nesta realidade, registrando seguidamente cheias que deixam desabrigados e trazem vários transtornos para economia local.

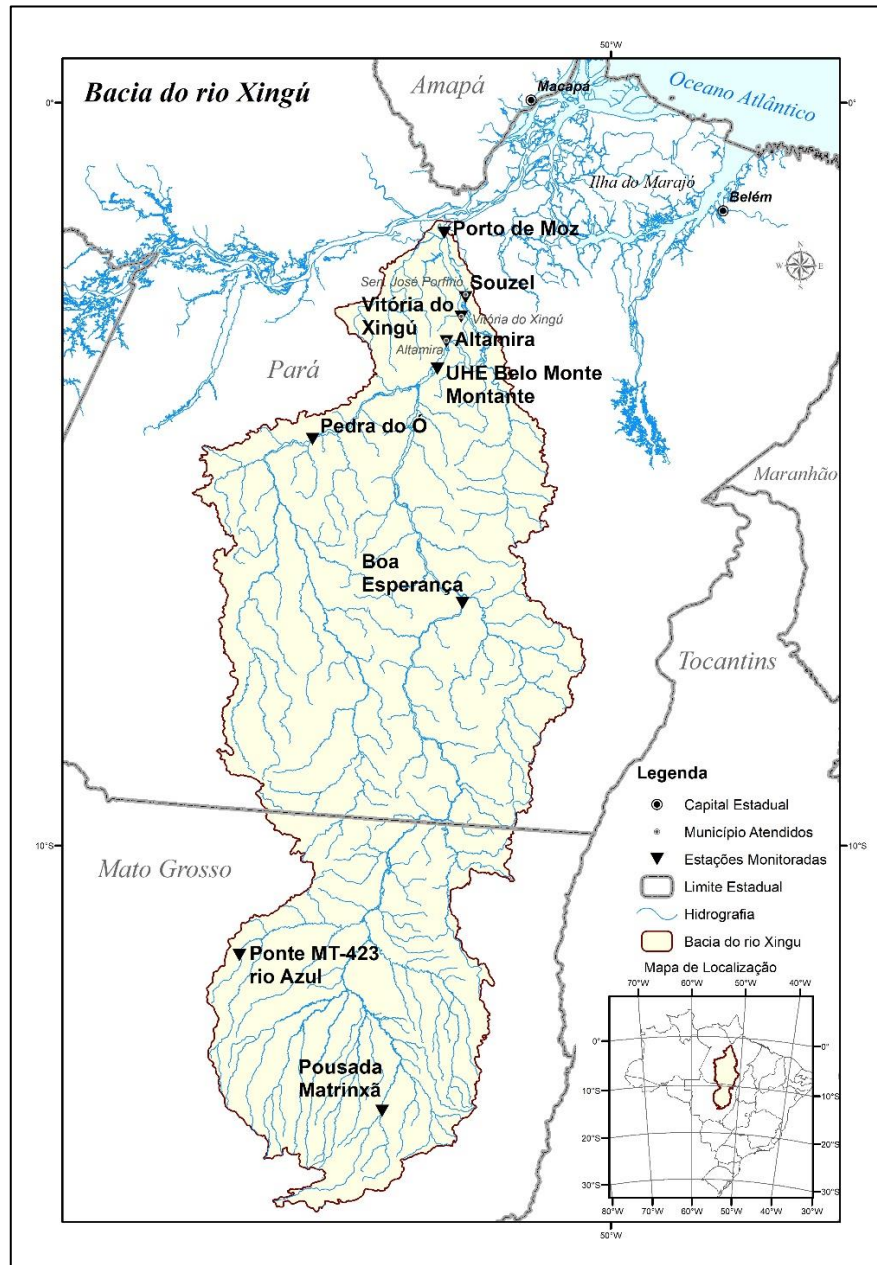
Para atender esta demanda, a CPRM iniciou em 2014 o estudo de viabilidade para implantação do Sistema de Alerta de Eventos Críticos na Bacia do Rio Xingu. O sistema tem o objetivo de gerenciar e/ou reduzir os impactos causados por inundações, por meio do monitoramento contínuo, previsão dos níveis dos rios, e divulgação de boletins. E desde 2017 o sistema está em operação, sendo as informações divulgadas através do site da CPRM, <http://sace.cprm.gov.br/Xingu/>, e encaminhadas para o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), ANA, Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), Defesas Cíveis Estadual, Municipal e comunidade em geral.

No caso dessa bacia, o sistema de alerta hidrológico atende a vários municípios dos estados de Mato Grosso e Pará, sendo os principais no Pará: Altamira, Senador José Porfírio, Vitória do Xingu e Porto de Moz. É uma população afetada direta ou indiretamente de aproximadamente 274.000 habitantes. O sistema de alerta hidrológico

ajuda a suprir a demanda por dados em escala temporal adequada a tomada de decisão (SISTEMA DE ALERTA DE EVENTOS CRÍTICOS – SACE, 2022).

A localização das nove estações fluviométricas que compõem o Sistema de Alerta de Eventos Críticos da Bacia do Rio Xingu está apresentada na Figura 02.

Figura 02 – Localização das estações fluviométricas do SACE Rio Xingu



Fonte: Elaborada pela DHT/SUREG-BH

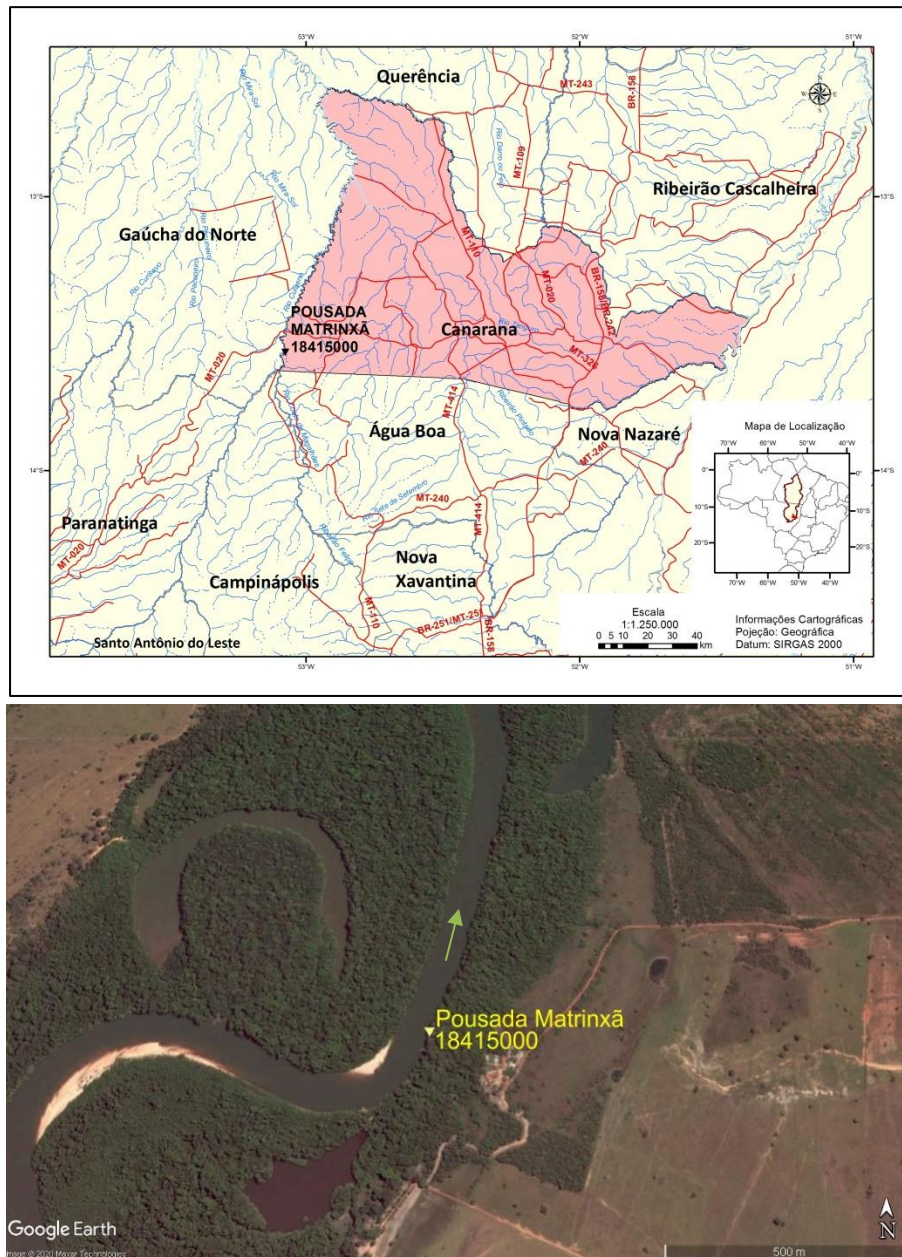
A estação fluviométrica de Pousada Matrinxã, código 18415000, está localizada na Latitude 13°33'57"S e Longitude 53°04'43"O, no Rio Culuene e possui uma área de drenagem de 11.600 km<sup>2</sup>. O Rio Culuene nasce em território do município de Nova Brasilândia, em um ponto de estrangulamento de várias bacias hidrográficas e percorre áreas de vários municípios, incluindo reservas ecológicas e especialmente indígenas.

Juntamente com o Rio Couto Magalhães, seu afluente, e especialmente o Rio Sete de Setembro, é um dos formadores do Rio Xingu, na sub-bacia 18. A estação está instalada na margem direita do Rio Culuene, nos fundos da Pousada Matrinxã, no município de Canarana, Mato Grosso.

Portanto, os dados e informações dessa estação são fornecidos ao Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da bacia do Rio do Xingu, atendendo aos municípios de Canarana e Gaúcha do Norte, Estado de Mato Grosso.

A localização da estação Pousada Matrinxã pode ser visualizada na Figura 03.

Figura 03 – Localização da estação fluviométrica de Pousada Matrinxã



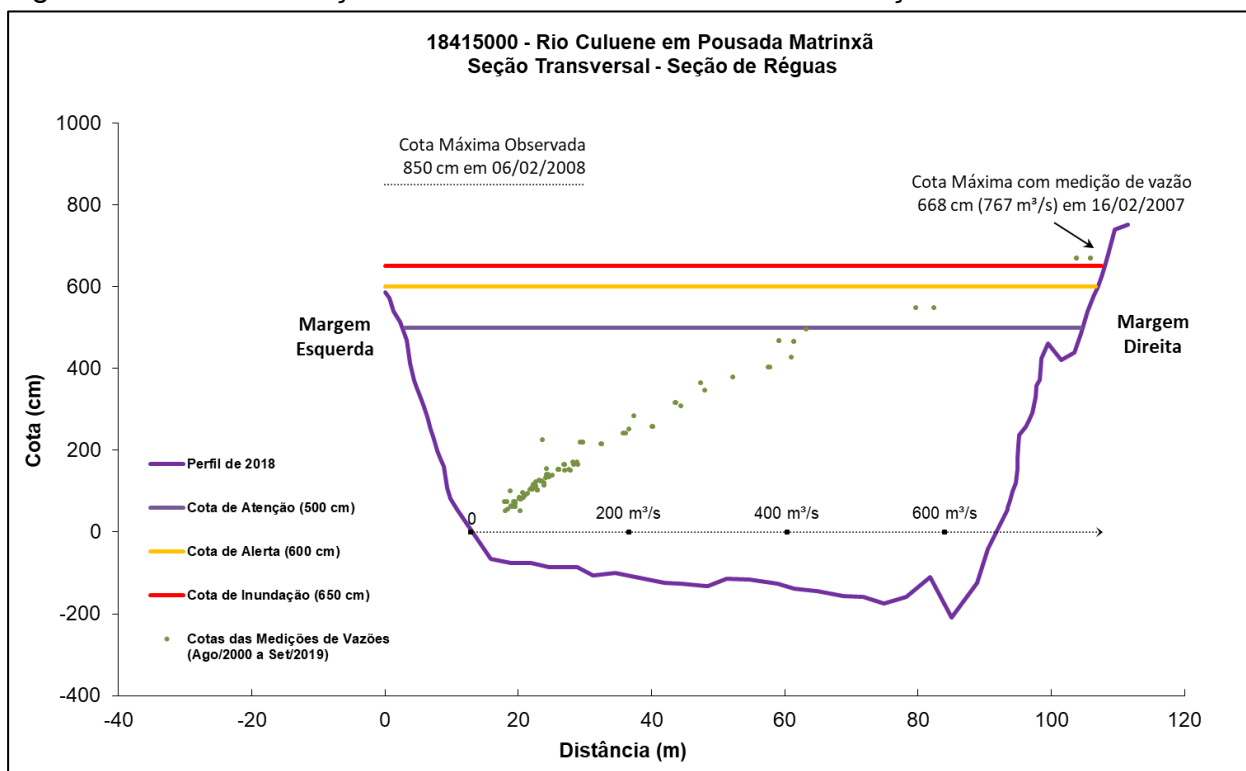
Fonte: Elaborada a partir do Google Earth / Elaborada pela DHT/SUREG-BH

A estação de Pousada Matrinxã possui, desde agosto de 2000, réguas linimétricas instaladas para realização de duas leituras diárias pelo observador dos níveis do Rio Culuene, as 7 e as 17 h. E desde junho de 2003, estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do Rio Culuene, sendo que desde 2015 esta estação é operada pela UFC Engenharia.

Ao longo do histórico da estação não houve mudança da cota do zero da régua, ou seja, não foram acrescidos 100 cm ou outro valor às cotas da estação. A cota de atenção é de 500 cm, a cota de alerta é de 600 cm e a cota de inundação de 650 cm. Maiores detalhes sobre a estação podem ser encontrados na sua ficha descritiva que consta do Anexo 01.

A Figura 04 apresenta o perfil da seção transversal do Rio Culuene na seção de réguas da estação. Esta figura também apresenta as cotas de alerta (600 cm) e inundação (650 cm) para a estação de Pousada Matrinxã, bem como, as medições simultâneas de vazões e cotas realizadas entre Ago/2000 e Set/2019 e a máxima cota observada (850 cm em 06/02/2008).

Figura 04 – Perfil da seção transversal do Rio Culuene na estação de Pousada Matrinxã



Fonte: Elaborada pela DHT/SUREG-GO

A diferença entre a máxima cota com vazão medida (767 m³/s na cota 668 cm) e a máxima cota observada nas réguas (850 cm) é de 182 cm. No Anexo III observa-se que a série de cotas máximas por ano hidrológico apresenta 20 valores, sendo 11 valores

superiores a 668 cm. A razão entre as cotas máximas com medição de vazão e a observada é 1,27 (850cm/668cm), sendo que Segundo Tucci (2002) as melhores curvas-chaves, aquelas com menor extrapolação do ramo superior, possuem a razão entre as cotas máximas com medição de vazão e a observada inferior a 1,25. Na Figura 04 também se observa poucas medições de vazões no intervalo de 500 a 650 m<sup>3</sup>/s (apenas duas medições).

As características mencionadas no parágrafo anterior podem dificultar a extrapolação do tramo superior da curva-chave e ampliar a incerteza na estimativa das vazões a partir das cotas superiores a 668 cm. Todavia, é necessário mencionar que as medições de vazões em cotas altas envolvem riscos à segurança dos técnicos que podem inviabilizar a realização do trabalho e, além disso, a frequência de ocorrência de grandes cheias pode ser baixa. Mesmo com as incertezas na estimativa das vazões em cotas altas citadas anteriormente foi realizada a análise de frequência das vazões máximas anuais.

Em cursos d'água onde a geometria da seção transversal e do trecho não se alteram significativamente ao longo do tempo, ou seja, as características geométricas como área de seção transversal, raio hidráulico, profundidade e largura relacionadas a uma mesma cota serão muito semelhantes em diferentes períodos, é possível efetuar a análise de frequência de cotas. Além disso, a associação entre a ausência de mudanças significativas na geometria do trecho e a não alteração do zero da régua da estação fluviométrica reforçam a possibilidade de se realizar a análise de frequência de cotas.

Além dos argumentos do parágrafo anterior, no caso do Rio Culuene na estação de Pousada Matrinxã, acrescenta-se o fato de 60% da série de cotas máximas por ano hidrológico estar no tramo extrapolado da curva-chave que também justificam a realização da análise da frequência de cotas.

## 2 – METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL

A análise estatística deve ser realizada utilizando séries históricas representativas do processo analisado, sem a presença de erros acidentais ou sistemáticos e possuindo um número mínimo de elementos para garantir uma boa confiabilidade nas extrapolações. É recomendável o emprego de séries com pelo menos 30 anos hidrológicos e aceitável no mínimo 15 anos hidrológicos.

Considerando Pinto (2013) e Naghettini e Pinto (2007), foram definidas as seguintes etapas para análise de frequência local de máximos por ano hidrológico:

- Avaliar a consistência dos dados e organizar a série de cotas ou vazões máximas por ano hidrológico.

Na etapa de consistência procura-se identificar problemas com os registros de cotas ou vazões que poderiam desacreditar as informações. Para tanto podem ser realizados métodos consagrados no meio técnico, como por exemplo, verificar se há mudança do zero da régua (mudança de referência), se há presença de erro de metro ou de 1/2 metro nas cotas; e se há de erro de digitação; comparar a cota máxima com a cota média diária; avaliar o comportamento dos cotogramas das estações de montante e jusante; verificar as cotas máximas da série disponível nos bancos de dados com os boletins de campo; avaliar os dados que estão como duvidosos ou estimados; avaliar o preenchimento de falhas (média, linígrafo e PCD); verificar as medições de vazões; analisar as curvas-chaves; verificar a continuidade das vazões; etc.

- Verificar a presença de valores atípicos (*outliers*)

A presença de valores atípicos (superiores e inferiores) é avaliada com o critério baseado na amplitude interquartil, AIQ (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 39), e com o teste de Grubbs e Beck (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 287). O valor atípico pode ter origem em erros de medição ou de processamento, mas também pode ser o produto de causas naturais indeterminadas. Se for identificado que o valor atípico é inconsistente, este deve ser excluído da amostra. Em caso de presença de *outliers* realmente observados deve-se avaliar a manutenção ou retirada destes pontos amostrais atípicos. Pois a presença de pontos atípicos em uma dada amostra, pode afetar drasticamente o ajuste da distribuição de probabilidades.

- Avaliar a independência, a homogeneidade e a estacionariedade das séries.

A independência dos valores de uma série significa que nenhuma observação pode influenciar a ocorrência, ou não ocorrência, da observação seguinte. No projeto de Regionalização de Vazões do Brasil a hipótese de independência é avaliada com o teste não paramétrico proposto por Wald e Wolfowitz (1943). A descrição detalhada deste teste é encontrada em Naghettini e Pinto (2007, p. 264).

Uma amostra é considerada homogênea quando todos os elementos provêm de uma única e idêntica população. A recomendação é avaliar a homogeneidade da série por meio do teste não-paramétrico proposto por Mann e Whitney (1947), o qual está descrito em detalhes em Naghettini e Pinto (2007, p. 265).

A estacionariedade de uma série, de um ponto de vista intuitivo, está associada a não alteração das características estatísticas ao longo do tempo o que significa a não existência de tendências, saltos e outras propriedades. Nos trabalhos da Regionalização a verificação da estacionariedade das séries é efetuada pelo teste não-paramétrico de Spearman, o qual encontra-se descrito em Naghettini e Pinto (2007, p. 267).

- Estimar a distribuição empírica.

A estimativa da distribuição empírica é realizada com ordenação decrescente da série e o cálculo da posição de plotagem pela fórmula de Weibull, ou seja, no caso de séries de máximos por ano hidrológico temos  $P(P > p) = m/(N + 1)$ , onde  $m$  é número de ordem e  $N$  o tamanho de amostra.

- Definir as distribuições teóricas de probabilidades candidatas a modelagem das vazões ou cotas máximas por ano hidrológico.

A definição da distribuição teórica de probabilidade é de suma importância, pois valores calculados para um mesmo período de retorno podem apresentar grandes variações quando estimados por diferentes distribuições. Os modelos teóricos candidatos são as distribuições de dois parâmetros Gumbel e Log-Normal e de três parâmetros GEV, Log-Normal com três parâmetros e a Log-Pearson Tipo III. No caso de séries inferiores a 30 anos serão avaliadas somente distribuições com dois parâmetros.

- Calcular os parâmetros das distribuições teóricas de probabilidades candidatas.

A estimativa dos parâmetros das distribuições candidatas é efetuada pelo método dos momentos-L (HOSKING; WALLIS, 1997). O Anexo II apresenta as funções densidade e acumulada de probabilidades das distribuições candidatas e as equações para cálculo dos parâmetros.

- Definir a distribuição teórica que será adotada na modelagem das séries a partir da verificação da aderência à distribuição empírica.

A aderência da distribuição teórica candidata à curva da distribuição empírica é verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A descrição detalhada destes testes é encontrada em Naghettini e Pinto (2007, p. 275 - 278).

- Estimar os quantis associados a diferentes tempos de retorno.

Após a conclusão das etapas anteriores, calcular os quantis associados a diferentes tempos de retorno de interesse.

### 3 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL

A análise de frequência local dos níveis e vazões do Rio Culuene em Pousada Matrinxã, código 18415000, foi efetuada utilizando séries de cotas máximas e vazões máximas com 20 anos, sendo dados máximos por ano hidrológico (01/Out a 30/Set), referentes aos anos de 2000 a 2020, apresentadas no Anexo III.

Para as análises de cotas e vazões a distribuição de frequência selecionada foi a Log-Normal, com os parâmetros calculados pelo método dos momentos-L e também apresentados no Anexo III, sendo ambas não rejeitadas pelo teste de aderência com nível de significância de 0,05. A distribuição Log-Normal foi selecionada por apresentar melhor ajuste e baixo desvio padrão dos resíduos entre as distribuições empíricas e teóricas.

A inversa da distribuição Log-Normal é a seguinte:

$$x_T = EXP(\mu + \sigma \cdot Z_{(1-1/T)}) \quad (01)$$

Onde:

$T$  é o tempo de retorno (anos).

$x_T$  é o quantil associado a tempo de retorno,  $T$ .

$Z_{(1-1/T)}$  é o valor da variável normal padrão associada a probabilidade  $(1 - 1/T)$ . Pode ser obtida em tabelas ou empregando métodos numéricos para inverter  $\Phi(x)$  apresentada no Anexo II.

$\mu$  é o parâmetro de posição (sendo 6,5366 para as cotas e 6,7047 para as vazões).

$\sigma$  é o parâmetro de escala (sendo 0,1276 para as cotas e 0,1924 para as vazões).

A equação 01 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 75 anos, para as séries de cotas e vazões.

A Figura 05 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustada para as séries de cotas.

Empregando a equação 01 foi possível calcular as cotas associadas a diferentes tempos de retorno. Os resultados estão apresentados na Tabela 01.

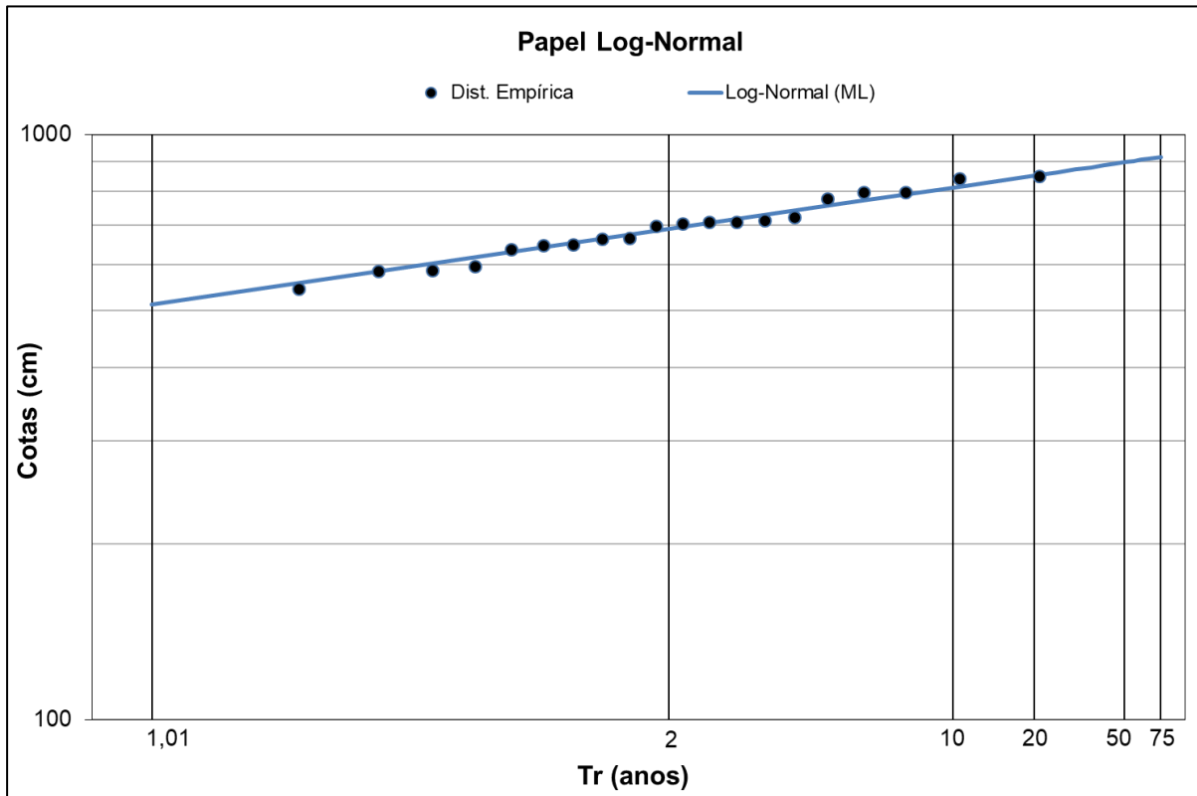
Tabela 01 – Cotas em cm, associadas a diferentes tempos de retorno

Cotas (cm)	Tempo de Retorno, T (anos)										
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75
	690	768	813	836	851	863	872	886	897	905	916

Fonte: Elaborada pela DHT/SUREG-GO



Figura 05 – Ajuste das distribuições empírica e teórica para as séries de cotas



Fonte: Elaborada pela DHT/SUREG-GO

A Figura 06 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustada para as séries de vazões.

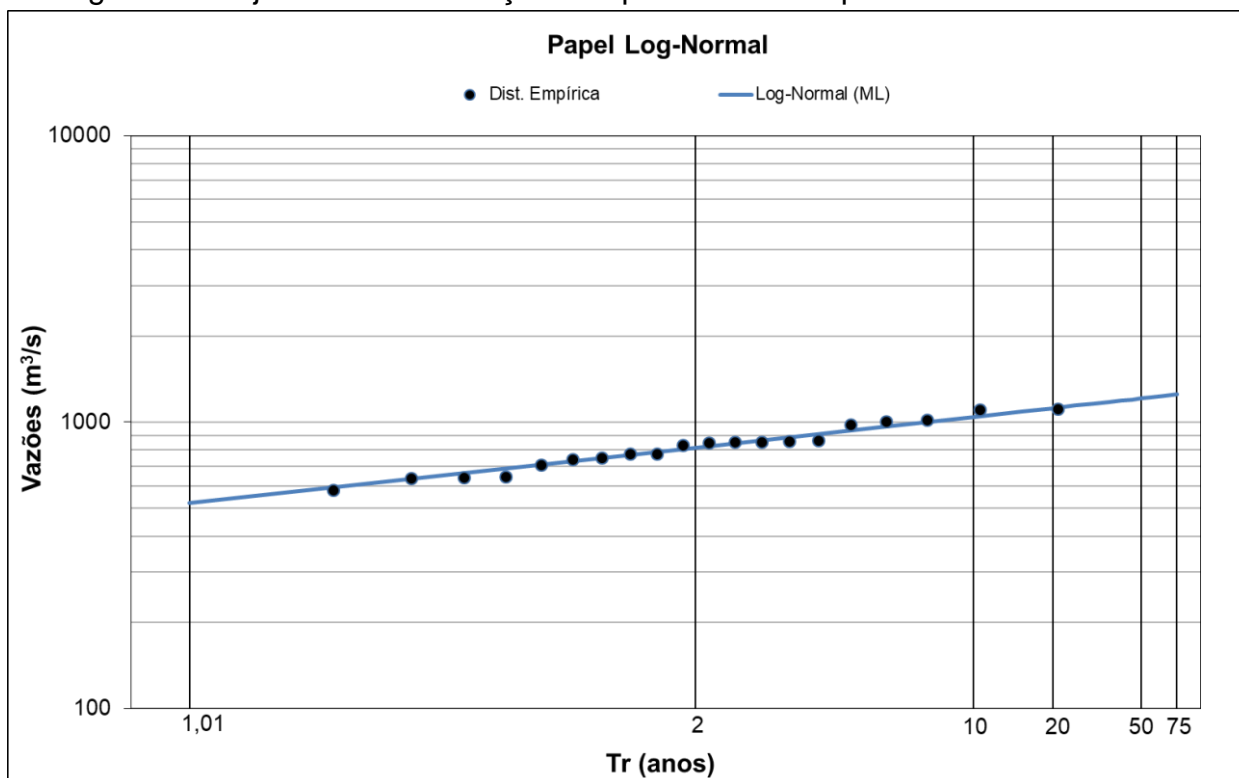
A Tabela 02 apresenta as vazões associadas a diferentes tempos de retorno calculadas com a equação 01.

Tabela 02 – Vazões em  $m^3/s$ , associadas a diferentes tempos de retorno

	Tempo de Retorno, T (anos)										
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75
Vazões ( $m^3/s$ )	816	960	1044	1089	1120	1143	1162	1190	1212	1229	1250

Fonte: Elaborada pela DHT/SUREG-GO

Figura 06 – Ajuste das distribuições empírica e teórica para as séries de vazões



Fonte: Elaborada pela DHT/SUREG-GO

## 4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) No dia 06/02/2008 o rio Culuene em Pousada Matrinxã, código 18415000, alcançou a cota de 850 cm. Qual é o tempo de retorno desta cota?

Resp: Inicialmente, para se calcular o tempo de retorno será necessário estimar a variável Normal Padrão da equação 01. Dessa forma temos:

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} \quad (02)$$

A cota registrada foi de 850 cm, o parâmetro de posição é  $\mu = 6,5366$ , e o parâmetro de escala é  $\sigma = 0,1276$ . Substituindo os valores na equação 02 temos:

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} = \frac{(\ln(850) - 6,5366)}{0,1276} = 1,6341$$

Levando o valor 1,6341 em uma tabela de inversa da distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMP.N do Excel obtém-se:  $P(Z \leq 1,6341) = 0,9488$ .

O tempo de retorno será:

$$T = \frac{1}{1 - P(Z \leq z)} = \frac{1}{1 - 0,9488} = 19,56 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 19,55 anos corresponde à probabilidade de 5,11% da cota 850 cm ser igualada ou superada em um ano qualquer, ou

$$P(x_T \geq 850 \text{ cm}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{19,56} 100 = 5,11 \%$$

- b) Qual é o tempo de retorno da cota de alerta em Pousada Matrinxã, código 18415000?

Resp: A cota de alerta em Pousada Matrinxã, código 18415000, é 600 cm. Substituindo este valor e os parâmetros da distribuição Log-Normal na equação 02, como no primeiro exemplo, temos que o tempo de retorno é de 1,16 anos. A probabilidade da cota 600 cm ser igualada ou superada em um ano qualquer é de 86,31%.

- c) Qual é o tempo de retorno da cota de inundação em Pousada Matrinxã, código 18415000?

Resp: A cota de inundação em Pousada Matrinxã, código 18415000, é 650 cm. Substituindo este valor e os parâmetros da distribuição Log-Normal na equação 02, como no primeiro exemplo, temos que o tempo de retorno é de 1,47 anos. A probabilidade de a cota de 650 cm ser igualada ou superada em um ano qualquer é de 67,99%.

d) Qual é o tempo de retorno da vazão associada à cota de inundação em Pousada Matrinxã, código 18415000?

*Resp: Inicialmente, será necessário calcular a vazão associada à cota de 650 cm, considerando a curva-chave mais recente, utilizando a equação apresentada no Anexo III.*

*Sendo os parâmetros  $a = 25,3$ ,  $h_0 = -0,89$  m e  $n = 1,695$ , temos para uma curva do tipo potencial:*

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

$$Q(650 \text{ cm}) = 25,3 (650/100 + 0,89)^{1,695}$$

$$Q(650 \text{ cm}) = 751 \text{ m}^3/\text{s}$$

*Para se calcular o tempo de retorno será necessário estimar a variável Normal Padrão, utilizando a equação 02.*

*Com a vazão calculada de  $751 \text{ m}^3/\text{s}$ , o parâmetro de posição  $\mu = 6,7047$  e o parâmetro de escala  $\sigma = 0,1924$ , substituindo os valores na equação 02 temos:*

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} = \frac{(\ln(751) - 6,7047)}{0,1924} = -0,4328$$

*Levando o valor  $-0,4328$  em uma tabela de inversa da distribuição Normal Padrão ou executando a função `DIST.NORMP.N` do Excel obtém-se:  $P(Z \leq -0,4328) = 0,3326$ .*

*Como feito no primeiro exemplo, o tempo de retorno será de 1,50 anos, correspondendo à probabilidade de 66,74% da vazão  $751 \text{ m}^3/\text{s}$  (associada à cota de inundação 650 cm) ser igualada ou superada em um ano qualquer.*

Atenção: observando os resultados obtidos, percebe-se que a vazão associada a uma cota não necessariamente tem o mesmo tempo de retorno! Uma vez que a vazão obtida a partir de uma cota depende de uma equação não linear (curva-chave) e as diferenças numéricas entre as cotas e as vazões influenciam os cálculos dos parâmetros das distribuições. A análise de frequência destas cotas não gera os mesmos resultados da análise de frequência dessas vazões correspondentes.

## 5 – REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA (Brasil). **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil:** fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2007 (Cadernos de recursos hídricos, 4). 1 CD-ROM. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2007/DiagnosticoDaOutorgaDeDireitoDeUso.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2022.

ÁGUAS AMAZÔNICAS. **Xingu**. 2022. Disponível em: <http://pt.aguasamazonicas.org/bacias/principais-sub-bacias/xingu/>. Acesso em: 06 abr. 2022.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional Frequency Analysis:** an Approach Based on L-Moments. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. p. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529443.003>. Acesso em: 02 jun. 2022.

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether One of Two Random Variables Is Stochastically Larger than the Other. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, n. 1, p. 50-60, mar., 1947. DOI: <http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177730491>. Acesso em: 02 jun. 2022.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. ISBN 9788574990231. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/454>. Acesso em: 02 jun. 2022.

PINTO, E. J. A. **Atlas pluviométrico do Brasil:** metodologia para definição das equações intensidade-duração-frequência do Projeto Atlas Pluviométrico. Belo Horizonte: CPRM, 2013. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/11560>. Acesso em: 02 jun. 2022.

SISTEMA DE ALERTA DE EVENTOS CRÍTICOS. Bacia do Rio Xingu: Apresentação e Características. CPRM: [Rio de Janeiro] 2022. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_bacias\\_monitoradas.php#](http://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php#). Acesso em 06 abr. 2022.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256 p. ISBN 8570256159.

WALD, A.; WOLFOWITZ, J. An Exact Test for Randomness in the Non-Parametric Case Based on Serial Correlation. **The Annals of Mathematical Statistics**, Durham, v. 14, n. 4, p.378-388, 1943. DOI: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177731358>. Acesso em: 02 jun. 2022.

ANEXO I

Ficha Descritiva

Estação Fluviométrica de Pousada Matrinxã, código 18415000

### FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO NO CURSO DA ÁGUA

<b>ESTAÇÃO:</b> Pousada Matrinxã	<b>TIPO:</b> FDSQT	<b>CÓDIGO:</b> 18415000
<b>REGIÃO HIDROGRÁFICA:</b> Amazônica	<b>BACIA:</b> Rio Xingu	
<b>RIO:</b> Culuene	<b>UF:</b> MT	<b>MUNICÍPIO:</b> Canarana
<b>ENTIDADE COORDENADORA:</b> ANA	<b>ENTIDADE OPERADORA:</b> COHIDRO/RJ	
<b>ÁREA DE DRENAGEM (km<sup>2</sup>):</b> 11.599,22	<b>DRENAGEM GERAL:</b> Rio Amazonas	
<b>LAT.:</b> - 13° 34' 20"	<b>LONG.:</b> - 53° 04' 30"	<b>INST.:</b> GPS
		<b>DATUM:</b> SAD 69
<b>ALT. (m):</b>	<b>INST.:</b>	<b>DATUM:</b>
<b>FOLHA:</b>	<b>ESCALA:</b>	<b>REF.CART.:</b>
		<b>ANO:</b>

ESTAÇÃO	TIPO	DATA DA INSTALAÇÃO	DATA DA EXTINÇÃO	ENTIDADE OPERADORA
FLUVIOMÉTRICA	F	10/08/2000		COHIDRO
FLUVIOGRÁFICA	FR			
SEDIMENTOMÉTRICA	S			
QUALIDADE DAS ÁGUAS	Q			

**ESTAÇÃO TELEMÉTRICA:** ( X ) SIM ( ) NÃO **DATA DA INSTALAÇÃO:**

**LOCALIZAÇÃO:** Na margem direita do Rio Culuene, nos fundos da Pousada Matrinxã, de propriedade do Sr. Hélio.

**ACESSIBILIDADE:** De Canarana pela MT-020 no sentido de Paranatinga até o posto de gasolina 81 km, seguir mais 41,7 km até a ponte sobre o rio Culuene, daí mais 60 km até a placa da SINOMAR, virar a esquerda e seguir por mais 15 km até a Sede da Pousada Matrinxã.

**DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO (RÉGUAS, LANCES, RRNN, SM, SR, PI, PF, etc.):**

**MARGEM:** M.D.

**RÉGUAS:** 8 Lances de miras, de alumínio, fixadas a estacas-suporte de madeira de lei, na margem direita, para leituras entre: 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 6/7, 7/8 e 8/9 m.

**RRNN:** RN01 = 7,350 m. Cota arbitrária, calota de alumínio chumbada ao centro de um bloco de concreto, a jusante da seção de réguas.

RN03 = 8,786 m. Instalada em 15/06/2014. Cota arbitrária, calota de alumínio chumbada ao centro de um bloco de concreto.

**SEÇÃO MEDIDORA:** A montante e próxima a seção de réguas.

**PROCESSOS DE MEDIÇÃO DE DESCARGA:** Medição acústica. Seção definida por duas estacas de madeira, PI na margem esquerda e PF na direita.

**Parâmetros de QA:** Temperatura, Turbidez, pH, Condutividade, OD e % de Saturação de OD.

**Horário das Observações:** Diariamente às 7 e às 17 horas.

REVISADA EM: 06/09/2022

**INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES:**
**POTAMOGRAFIA:**

O Rio Culuene nasce na Serra Finca Faca, sendo limite entre os municípios Planalto da Serra, Primavera do Leste, Paranatinga, Nova São Joaquim, Campinópolis, Canarana e Gaúcha do Norte. Deságua na margem esquerda do rio Xingú.

**POSIÇÃO EM RELAÇÃO À REDE:**

MONTANTE:

JUSANTE:

**CARACTERÍSTICA DO TRECHO: Reto**

REGIME:

CONFORMAÇÃO:

FUNDO:

(X) PERENE ( ) INTERMITENTE ( ) RETILÍNIO ( ) ANASTOMOSADO ( ) REGULAR (X) IRREGULAR  
 ( ) EFÊMERO (X) CURVO ( ) MEANDRANTE ( ) ENCACHOEIRADO

**NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS:**

NATUREZA:

INCLINAÇÃO:

ME: Argilosas

ME: Acentuada

MD: Argilosas

MD: Acentuada

**NATUREZA DO LEITO:** Argiloso e rochoso

**CONTROLE:**
**LOCALIZAÇÃO:**
**DISTÂNCIA (m):**
**COTA DE TRANSBORDAMENTO (cm):** ( ) MARGEM DIREITA ( ) MARGEM ESQUERDA

**OBSERVADOR:**

NOME:

PROFISSÃO:

GRAU DE INSTRUÇÃO:

ENDEREÇO:

FONE:

BAIRRO:

CEP:

CIDADE:

ESTADO:

DISTÂNCIA DA RESIDÊNCIA À ESTAÇÃO (m):

MEIO DE COMUNICAÇÃO MAIS PRÓXIMO DA CASA DO OBSERVADOR:

DISTÂNCIA DA CASA DO OBSERVADOR (m):

OBSERVAÇÃO:

NA AUSÊNCIA DO OBSERVADOR PROCURAR POR:

NOME:

ENDEREÇO:

FONE:

BAIRRO:

CEP:

CIDADE:

ESTADO:

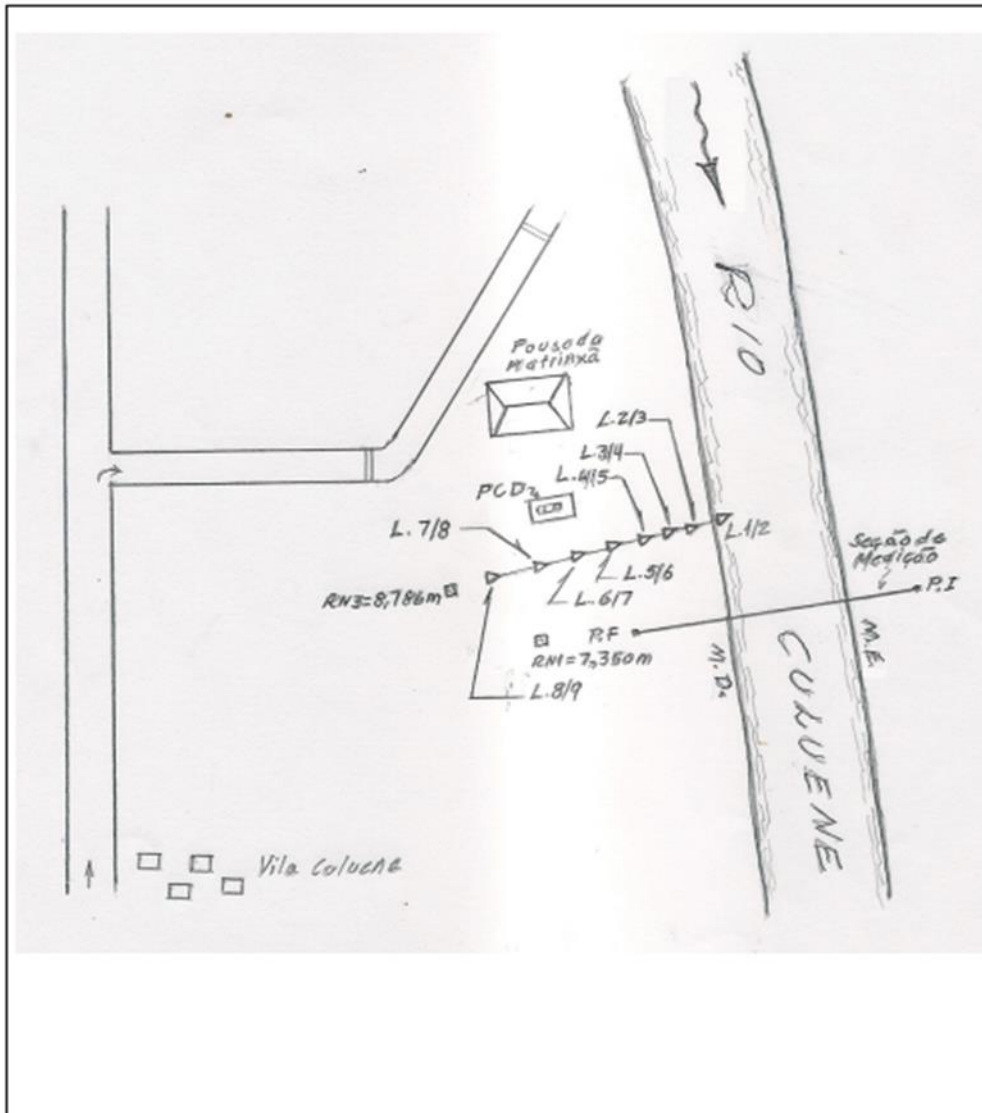
OBSERVAÇÕES:

REVISADA EM: 06/09/2022



**CROQUI DE SITUAÇÃO**

<b>RIO</b> CULUENE	<b>EM</b> POUSADA MATRINXÃ	<b>CÓDIGO</b> 18415000	<b>TIPO</b> FDSQT
<b>REGIÃO HIDROGRÁFICA</b> AMAZÔNICA		<b>DATA</b> 09/08/2022	



ANEXO II  
Distribuição Candidatas

## ANEXO II

### DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

- Função Densidade de Probabilidade

$$f_X(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-\beta}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]$$

$\alpha$  = Parâmetro de escala       $\beta$  = Parâmetro de posição

Limites:  $-\infty \leq x < \infty$

- Função Acumulada de Probabilidades

$$F_X(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]$$

- Inversa da função acumulada

$$x = \beta - \alpha \ln[-\ln(F(x))]$$

- Momentos L

$$\lambda_1 = \beta + \alpha\gamma_E \quad \lambda_2 = \alpha \ln(2) \quad \lambda_3 = \alpha[2\ln(3) - 3\ln(2)] \quad \lambda_4 = \alpha[5\ln(4) - 10\ln(3) + 6\ln(2)]$$

$$\tau_3 = 0,1699 \quad \tau_4 = 0,1504$$

- Estimativa dos parâmetros pelos momentos-L

$$\hat{\alpha} = \frac{l_2}{\ln(2)}$$

$$\hat{\beta} = \frac{l_1}{\gamma_E \hat{\alpha}}$$

Onde  $l_1$  e  $l_2$  são os momentos-L amostrais e  $\gamma_E = 0,5572157$  é a constante de Euler.

Fonte: Hosking e Wallis (1997)

## ANEXO II

### DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL

Os dados transformados pelo logaritmo natural,  $Ln(x)$ , se distribuem como uma normal

### DISTRIBUIÇÃO NORMAL

- Função Densidade de Probabilidade

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right)$$

Parâmetros:  $\mu$  é o parâmetro de posição e  $\sigma$  é o parâmetro de escala

Limites:  $-\infty \leq x < \infty$

- Função Acumulada de Probabilidades

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt$$

- Inversa da função acumulada

$x(F)$  não possui forma analítica

- Momentos-L

$$\lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642\sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\sigma \quad \tau_3 = 0 \quad \tau_4 = 0,1226 = [30\pi^{-1}\arctan(\sqrt{2})] - 9$$

- Estimativa de parâmetros pelos momentos-L

$$\hat{\mu} = \lambda_1 \quad \hat{\sigma} = \lambda_2\sqrt{\pi}$$

OBS: Inicialmente os dados são transformados pelo logaritmo natural,  $Ln(x)$ . Em seguida são calculados os momentos-L e depois os parâmetros.

Fonte: Hosking e Wallis (1997)

## ANEXO II

### DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL (3P)

A função densidade de Probabilidade da Log-Normal (3P) é dada por:

$$f(x) = \frac{e^{ky-y^2/2}}{\alpha\sqrt{2\pi}} \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1 - k(x - \xi)/\alpha\} & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha & k = 0 \end{cases}$$

A função Acumulada de probabilidade é dada por:  $F(x) = \Phi(y)$

na qual,  $\Phi$  denota a função de distribuição acumulada Normal padrão.

$x(F)$  não apresenta forma analítica explícita.

Parâmetros :  $\xi$  (Posição),  $\alpha$  (Escala) e  $k$  (forma)

Os limites da função são:

Para,  $k > 0$ :  $-\infty < x \leq \xi + \alpha/k$ ;  $k = 0$ :  $-\infty < x < \infty$ ;  $k < 0$ :  $\xi + \alpha/k \leq x < \infty$

Os parâmetros podem ser estimados pelos momentos-L com as seguintes equações:

$$k \approx -\tau_3 \frac{E_0 + E_1\tau_3^2 + E_2\tau_3^4 + E_3\tau_3^6}{1 + F_1\tau_3^2 + F_2\tau_3^4 + F_3\tau_3^6} \quad \text{para } |\tau_3| \leq 0,94$$

$E_0$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
2,0466534	-3,6544371	1,8396733	-0,20360244	-2,0182173	1,2420401	-0,21741801

$$\alpha = \frac{\lambda_2 k e^{\frac{k^2}{2}}}{1 - 2\Phi\left(-k/\sqrt{2}\right)} \quad \text{e} \quad \xi = \lambda_1 - \frac{\alpha}{k} \left(1 - e^{\frac{k^2}{2}}\right)$$

Nesta parametrização, a distribuição Log-Normal é a distribuição de uma variável aleatória  $X$  que está relacionada a uma variável aleatória  $Z$  de distribuição Normal padrão, pela seguinte equação:

$$X = \begin{cases} \xi + \alpha(1 - e^{-kZ})/k & k \neq 0 \\ \xi + \alpha Z & k = 0 \end{cases}$$

$Z$  é variável normal central reduzida.

Fonte: Hosking e Wallis (1997)

## ANEXO II

### DISTRIBUIÇÃO LOG-PEARSON TIPO III

Uma variável  $x$  segue a distribuição Log-Pearson tipo III, quando a variável transformada  $Y = \ln(X)$  distribui-se de acordo com a Pearson tipo III.

A distribuição Pearson Tipo III possui os parâmetros de posição  $\mu$ , escala  $\sigma$  e forma  $\gamma$

Se  $\gamma \neq 0$ , temos  $\alpha = 4/\gamma^2$ ,  $\beta = \frac{1}{2}\sigma|\gamma|$  e  $\xi = \mu - \frac{2\sigma}{\gamma}$

Se  $\gamma > 0$ , então os limites de  $x$  são os seguintes:  $\xi \leq x \leq \infty$  e as FDP e FAP

$$f(x) = \frac{(x - \xi)^{\alpha-1} e^{-(x-\xi)/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$$

$$F(x) = \frac{G\left(\alpha, \frac{x - \xi}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)}$$

Se  $\gamma = 0$ , então a distribuição é Normal e os limites de  $x$  são os seguintes:  $-\infty \leq x \leq \infty$  e as FDP e FAP

$$f(x) = \phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

Se  $\gamma < 0$ , então os limites de  $x$  são os seguintes:  $-\infty \leq x \leq \xi$  e as FDP e FAP

$$f(x) = \frac{(\xi - x)^{\alpha-1} e^{-(\xi-x)/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$$

$$F(x) = 1 - \frac{G\left(\alpha, \frac{\xi - x}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)}$$

$\Gamma(\alpha)$  é a função Gama dada por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

$G(\alpha, x)$  é a função Gama incompleta dada por:

$$G(\alpha, x) = \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) \quad \text{e} \quad \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt$$

Os parâmetros de posição  $\mu$ , escala  $\sigma$  e forma  $\gamma$  da distribuição Pearson Tipo III podem ser calculados pelo método dos momentos-L com as equações

$$\begin{aligned} \mu &= \lambda_1 \\ \sigma &= \frac{\lambda_2 \pi^{1/2} c^{1/2} \Gamma(c)}{\Gamma\left(c + \frac{1}{2}\right)} \\ \gamma &= 2c^{-1/2} \text{ sinal}(\tau_3). \end{aligned}$$

A variável  $c$  é estimada considerando duas situações.

A primeira, se  $0 < |\tau_3| < 1/3$ , nesse caso adotar  $z = 3\pi\tau_3^2$  e aplicar a equação

$$c \approx \frac{1 + 0,2906z}{z + 0,1882z^2 + 0,0442z^3}.$$

A segunda, se  $1/3 \leq |\tau_3| < 1$ , nessa situação adota-se  $z = 1 - |\tau_3|$  e emprega-se a equação

$$c \approx \frac{0,36067z - 0,59567z^2 + 0,25361z^3}{1 - 0,78861z + 2,56096z^2 - 0,77045z^3}$$

A distribuição Pearson Tipo III com parâmetros de posição  $\mu$ , escala  $\sigma$  e forma  $\gamma$ , apresenta algumas relações importantes com as distribuições Gama e Normal, as quais facilitam a estimação dos quantis. Quando o parâmetro de forma  $\gamma$  é positivo, a Pearson-

III está associada à distribuição Gama. Se o parâmetro de forma  $\gamma$  é negativo, a Pearson-III está associada à distribuição Gama refletida. E, quando o parâmetro de forma  $\gamma$  é igual a zero, a Pearson-III está relacionada à distribuição Normal. Considerando que uma variável  $x$  segue uma distribuição Pearson tipo III, com parâmetros de posição  $\mu$ , escala  $\sigma$  e forma  $\gamma$ , a relação entre esses parâmetros e os das distribuições Gama e Normal são as seguintes:

- Se  $\gamma > 0$ , então  $X - \mu + \frac{2\cdot\sigma}{\gamma}$  segue uma distribuição Gama com parâmetros  $\alpha = \frac{4}{\gamma^2}$  e  $\beta = \frac{\sigma\cdot\gamma}{2}$ . Desse modo, os quantis da Pearson-III com parâmetro de forma positivo podem ser calculados pela equação:

$$x(T) = \mu - \frac{2\cdot\sigma}{\gamma} + G^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}, \alpha, \beta\right)$$

onde  $\tau$  é o tempo de retorno e  $G^{-1}()$  é a inversa da distribuição Gama com parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ .

- Se  $\gamma < 0$ , então  $-X + \mu - \frac{2\cdot\sigma}{\gamma}$  segue uma distribuição Gama com parâmetros  $\alpha = \frac{4}{\gamma^2}$  e  $\beta = \left|\frac{\sigma\cdot\gamma}{2}\right|$ . Desse modo, os quantis da Pearson-III com parâmetro de forma negativo podem ser calculados pela equação:

$$x(T) = \mu - \frac{2\cdot\sigma}{\gamma} - G^{-1}\left(\frac{1}{T}, \alpha, \beta\right)$$

onde  $\tau$  é o tempo de retorno e  $G^{-1}()$  é a inversa da distribuição Gama com parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ .

- Se  $\gamma = 0$ , então  $x$  segue uma distribuição Normal com parâmetros  $\mu$  e  $\sigma$ . Assim, os quantis da Pearson-III com parâmetro de forma nulo podem ser calculados pela equação:

$$x(T) = \mu + \sigma\cdot Z_\tau$$

onde  $\tau$  é o tempo de retorno e  $Z_\tau$  é a variável normal central reduzida associada uma probabilidade  $(1-1/T)$ . Recorde que, no programa Microsoft EXCEL, a inversa da distribuição Gama com parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  pode ser calculada com a



função INVGAMA() e a variável normal central reduzida com a função INV.NORMP()).

Quando uma variável  $x$  segue a distribuição Log-Pearson tipo III, é um fato matemático que a variável transformada  $Y = \ln(X)$  distribui-se de acordo com a Pearson tipo III. Assim, os parâmetros podem ser calculados por meio dos logaritmos dos valores observados e os quantis são estimados por meio das seguintes equações:

Para  $\gamma_{\ln X} > 0$

$$x(T) = \exp\left\{\mu_{\ln X} - \frac{2 \cdot \sigma_{\ln X}}{\gamma_{\ln X}} + G^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}, \alpha, \beta\right)\right\}$$

Para  $\gamma_{\ln X} < 0$

$$x(T) = \exp\left\{\mu_{\ln X} - \frac{2 \cdot \sigma_{\ln X}}{\gamma_{\ln X}} - G^{-1}\left(\frac{1}{T}, \alpha, \beta\right)\right\}$$

Para  $\gamma_{\ln X} = 0$

$$x(T) = \exp(\mu_{\ln X} + \sigma_{\ln X} \cdot Z_T)$$

Fonte: Hosking e Wallis (1997)

## ANEXO II

### DISTRIBUIÇÃO GENERALIZADA DE EVENTOS EXTREMOS (GEV)

A função densidade de Probabilidade da GEV é dada por:

$$f_x(x) = \frac{1}{\alpha} \exp[-(1-k)y - \exp(-y)]$$

$$\text{Para } k=0, \quad y = \frac{x-\xi}{\alpha}$$

$$\text{Para } k \neq 0 \quad y = -\frac{1}{k} \ln \left[ 1 - \frac{(x-\xi)k}{\alpha} \right].$$

Os limites da função são:

Para  $k < 0$ :  $\xi + \frac{\alpha}{k} \leq x \leq \infty$ , para  $k = 0$ :  $-\infty \leq x \leq \infty$  e para  $k > 0$ :  $-\infty < x \leq \xi + \frac{\alpha}{k}$

$$F_x(x) = \exp[-\exp(-y)]$$

$$x(F) = \xi - \alpha \ln[-\ln(F)] \quad , k = 0$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - [-\ln(F)]^k \right\} \quad , k \neq 0$$

Onde  $k$ ,  $\alpha$  e  $\xi$  são os parâmetros de forma, escala e posição, respectivamente. A estimação dos parâmetros pelos momentos-L pode ser efetuada por meio das seguintes equações:

$$\hat{k} \approx 7,8590c + 2,9554c^2 \quad , \text{ para } -0,5 \leq \tau_3 \leq 0,5$$

Sendo

$$c = \frac{2}{3 + \tau_3} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)} = \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)} = \frac{(2\beta_1 - \beta_0)}{(3\beta_2 - \beta_0)} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\hat{k}\lambda_2}{(1 - 2^{-\hat{k}})\Gamma(1 + \hat{k})}$$

$$\hat{\xi} = \lambda_1 - \frac{\hat{\alpha}}{\hat{k}} \left[ 1 - \Gamma(1 + \hat{k}) \right]$$

Fonte: Hosking e Wallis (1997)

ANEXO III  
Série de Dados Utilizados  
Estatísticas da série  
Parâmetros das curvas-chaves

### ANEXO III

#### Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)

#### Máximos por ano hidrológico (01/Out a 30/Set)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	DL (cm)		Observação
						7h	17h	
1	2000	2001	22/12/2000	07:00	798	798	798	
2	2001	2002	16/01/2002	07:00	723	723	723	
3	2002	2003	05/03/2003	17:00	697	697	697	
4	2003	2004	01/03/2004	17:00	842			*
5	2004	2005	20/01/2005	17:00	648	642	648	
6	2005	2006	20/12/2005	17:00	778	774	778	
7	2006	2007	11/02/2007	07:00	797	797	795	
8	2007	2008	06/02/2008	17:00	850	840	850	
9	2008	2009	19/02/2009	17:00	546	544	546	
10	2009	2010	11/03/2010	07:00	714	714	712	
11	2010	2011	25/03/2011	07:00	665	665	665	
12	2011	2012	20/01/2012	07:00	709	709	708	
13	2012	2013	10/02/2013	07:00	650			*
14	2013	2014	27/01/2014	07:00	588	588	586	
15	2014	2015	21/12/2014	07:00	666	666	662	
16	2015	2016	15/03/2016	17:00	584	580	584	*
17	2016	2017	16/02/2017	17:00	709	704	709	*
18	2017	2018	13/01/2018	07:00	636	636	600	
19	2018	2019	14/04/2019	07:00	596	596	573	
20	2019	2020	04/03/2020	07:00	704	704	704	*

DL – Dupla Leitura (07 e 17 h) – Horário de Brasília;

\* cota estimada

#### Estatísticas da série de Cotas Máximas por ano hidrológico (01/Out a 30/Set)

##### Estatísticas da série de cotas

	Média cm	Desvio- Padrão cm	Máximo cm	Mínimo cm	Amplitude cm	Assimetria	Mediana cm
<b>x</b>	695	86,0	850	546	304	0,20	700,5
<b>Ln(x)</b>	6,54	0,12	6,75	6,30	0,44	-0,025	6,55

	1º Quartil cm	3º Quartil cm	AIQ cm
<b>x</b>	645	736,75	91,75
<b>Ln(x)</b>	6,47	6,60	0,13

Momentos-L e Razões-L

$l_1$	$l_2$	L-CV	L-SKEW	L-KURT
695,0005	49,9107	0,0718	0,0516	0,1077

Função Acumulada de Probabilidade Log-Normal para Máximos ( $\mu$  e  $\sigma$  são parâmetros da distribuição de Log-Normal e T é o tempo de retorno em anos)

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \quad \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt$$

Como a inversa da função acumulada não possui forma analítica, estima-se a variável Normal Padrão Z, em seguida obtém-se o tempo de retorno T:

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} \quad T = \frac{1}{1 - P(Z \leq z)}$$

Sendo para a série de cotas os parâmetros:

Distribuição	Posição ( $\mu$ )	Escala ( $\sigma$ )
Log-Normal (ML)	6,5366	0,1276

### ANEXO III

#### Série de Dados Utilizados – Vazões (m<sup>3</sup>/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Out a 30/Set)

N	AI	AF	Data	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Observações
1	2000	2001	22/12/2000	1009	
2	2001	2002	16/01/2002	859	
3	2002	2003	05/03/2003	833	
4	2003	2004	01/03/2004	1110	*
5	2004	2005	20/01/2005	742	
6	2005	2006	20/12/2005	980	
7	2006	2007	11/02/2007	1019	
8	2007	2008	06/02/2008	1116	
9	2008	2009	19/02/2009	579	
10	2009	2010	11/03/2010	862	
11	2010	2011	25/03/2011	777	
12	2011	2012	20/01/2012	853	
13	2012	2013	10/02/2013	751	*
14	2013	2014	27/01/2014	645	
15	2014	2015	21/12/2014	775	
16	2015	2016	15/03/2016	637	*
17	2016	2017	16/02/2017	851	*
18	2017	2018	12/01/2018	712	
19	2018	2019	14/04/2019	641	
20	2019	2020	04/03/2020	846	*

\* cota estimada

Estatísticas da série de Vazões Máximas por ano hidrológico (01/Out a 30/Set)

Estatísticas da série de vazões

	Média (m <sup>3</sup> /s)	Desvio-Padrão (m <sup>3</sup> /s)	Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Amplitude (m <sup>3</sup> /s)	Assimetria	Mediana (m <sup>3</sup> /s)
<b>x</b>	829,9	155,2	1116,0	579,0	537,0	0,3	839,5
<b>Ln(x)</b>	6,70	0,19	7,02	6,36	0,66	-0,004	6,73

	1º Quartil (m <sup>3</sup> /s)	3º Quartil (m <sup>3</sup> /s)	AIQ (m <sup>3</sup> /s)
<b>x</b>	734,5	891,5	157,0
<b>Ln(x)</b>	6,60	6,79	0,19

### Momentos-L e Razões-L

$l_1$	$l_2$	L-CV	L-SKEW	L-KURT
829,8500	89,6184	0,1080	0,0807	0,1080

Função Acumulada de Probabilidade Log-Normal para Máximos ( $\mu$  e  $\sigma$  são parâmetros da distribuição de Log-Normal e T é o tempo de retorno em anos)

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \quad \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt$$

Como a inversa da função acumulada não possui forma analítica, estima-se a variável Normal Padrão Z, em seguida obtém-se o tempo de retorno T:

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} \quad T = \frac{1}{1 - P(Z \leq z)}$$

Parâmetros para a série de vazões:

Distribuição	Posição ( $\mu$ )	Escala ( $\sigma$ )
Log-Normal (ML)	6,7047	0,1924

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n \quad (\text{AIII-01})$$

Onde:

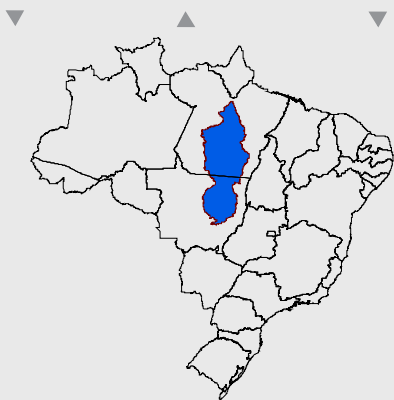
$Q(h)$  é a vazão calculada para a cota  $h$  ( $m^3/s$ );

$h$  é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$a$ ,  $n$  e  $h_0$  são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM para o cálculo das vazões são os seguintes:

Tipo de Curva	Período	Parâmetros			Amplitude de Cotas (cm)	
		a	$h_0$ (m)	n	Min.	Max.
Equação	01/08/2000 a 31/12/2002	23	-0,89	1,695	80	373
		19	-0,89	1,820	373	800
Equação	01/01/2003 a 31/12/2014	25,3	-0,89	1,695	50	850
Equação	01/01/2015 a 31/12/2022	25,3	-0,89	1,695	0	850



## Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

### Análise de Frequência de Cotas e Vazões dos Sistemas de Alerta

#### ENDEREÇOS

##### Sede

SGAN- Quadra 603 – Conjunto J – Parte A – 1º andar  
Brasília – DF – CEP: 70.830-030  
Tel: 61 2192-8252  
Fax: 61 3224-1616

##### Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 – Urca  
Rio de Janeiro – RJ CEP: 22.290-255  
Tel: 21 2295-5337 – 21 2295-5382  
Fax: 21 2542-3647

##### Superintendência Regional de Belo Horizonte

Av. Brasil, 1.731 – Funcionários  
Belo Horizonte – MG – CEP: 30.140-002  
Tel.: 31 3878-0376  
Fax: 31 3878-0383

##### Superintendência Regional de Goiânia

Rua 148, 485 – Setor Marista  
Goiânia – GO – CEP: 74.170-110  
Tel.: 62 3240-1400  
Fax: 62 3240-1417