



# **REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS**

**ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE VAZÕES MÁXIMAS E  
A DEFINIÇÃO DAS COTAS PARA INSTALAÇÃO DE  
EQUIPAMENTOS AUTOMÁTICOS NA  
REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL DE  
REFERÊNCIA (RHNR)**

**Rio: Vermelho  
Estação Fluviométrica: Balneário Cachoeira Grande  
Código: 25100000  
Município: Goiás - GO**

**Goiânia  
2025**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

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 VAZÕES MÁXIMAS E A DEFINIÇÃO  
DAS COTAS PARA INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS  
AUTOMÁTICOS NA REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL DE  
REFERÊNCIA (RHNR)

Rio: Vermelho

Estação Fluviométrica: Balneário Cachoeira Grande

Código: 25100000

Município: Goiás - GO

---

Denise Christina de Rezende Melo

Eber José de Andrade Pinto



Goiânia

2025

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

### **MINISTRO DE ESTADO**

Alexandre Silveira de Oliveira

### **SECRETARIA NACIONAL DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Ana Paula Lima Vieira Bittencourt

### **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB**

#### **DIRETORIA EXECUTIVA**

##### **Diretor Presidente**

Francisco Valdir Silveira (interino)

##### **Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

##### **Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Francisco Valdir Silveira

##### **Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Alice Silva de Castilho (Substituta)

##### **Diretor de Administração e Finanças**

Alice Silva de Castilho (Substituta)

#### **COORDENAÇÃO TÉCNICA**

##### **Chefe do Departamento de Hidrologia**

Andrea de Oliveira Germano

##### **Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada**

Emanuel Duarte Silva

Achiles Monteiro (*in memoriam*)

##### **Chefe do Departamento de Gestão Territorial**

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

##### **Chefe da Divisão de Geologia Aplicada**

Tiago Antonelli

##### **Coordenação Executiva do DEHID - Projeto Regionalização de Vazões**

Eber José de Andrade Pinto

#### **SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE GOIÂNIA**

##### **Superintendente**

*Marcelo Henrique da Silva Rosa (Interino)*

##### **Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial**

*Vivian Athaydes Canello Fernandes*

##### **Gerente de Geologia e Recursos Minerais**

*Jônatas de Sales Macedo Carneiro*

##### **Gerente de Infraestrutura Geocientífica**

*Wilian Ribeiro de Padua*

##### **Gerente de Administração e Finanças**

*Alessandra Patricia Diniz*

**REALIZAÇÃO**

Superintendência de Goiânia

**AUTORES**

Denise Christina de Rezende Melo

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

Paula Krsthina Cordeiro Freire – REFO

**SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E MAPA**

Cristiane de Lima Pereira – SUREG/GO

**NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA**

Maria Gasparina de Lima – SUREG/GO

Ficha Catalográfica  
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 vazões máximas e a definição das cotas para instalação de equipamentos automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR): rio Vermelho, estação fluviométrica: Balneário Cachoeira Grande, código: 25100000, município: Goiás - GO / Denise Christina de Rezende Melo, Eber José de Andrade Pinto. – Goiânia: Serviço Geológico do Brasil, 2025.  
1 recurso eletrônico: PDF

Programa Gestão de Riscos e de Desastres.

Ação levantamentos, estudos, previsão e alerta de eventos hidrológicos críticos.

ISBN 978-65-5664-650-3

1. Hidrologia. 2. Vazões naturais. 3. Bacias hidrográficas. I. Pinto, Eber José de Andrade Pinto. II. Título.

CDD 551.48

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Maria Gasparina de Lima CRB-1 / 1243

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – SGB

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - SGB

[www.sgb.gov.br](http://www.sgb.gov.br)

<https://rigeo.sgb.gov.br>

[seus@sgb.gov.br](mailto:seus@sgb.gov.br)

## APRESENTAÇÃO

O projeto Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras é uma iniciativa dentro do programa de Gestão de Riscos e Resposta a 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 disso, 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 igualda 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 da análise de frequência das vazões máximas observadas e a recomendação de cotas (níveis) para instalação de equipamentos automáticos no rio Vermelho, especificamente na estação fluviométrica Balneário Cachoeira Grande, código 25100000, pertencente à sub-bacia 25, no alto Araguaia. Esta estação fluviométrica faz parte da Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR) e constitui um ponto de acompanhamento das vazões e cotas nesta região, no Estado de Goiás.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 – INTRODUÇÃO .....                                                                                                          | 6  |
| 2 – METODOLOGIA.....                                                                                                          | 12 |
| 2.1 – Análise de Frequência Local .....                                                                                       | 12 |
| 2.2 – Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência ..... | 14 |
| 3 – RESULTADOS .....                                                                                                          | 18 |
| 3.1 – Análise de Frequência Local .....                                                                                       | 18 |
| 3.2 – Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência ..... | 19 |
| 4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO .....                                                                                               | 22 |
| REFERÊNCIAS .....                                                                                                             | 24 |
| ANEXO I - Ficha Descritiva da Estação Fluviométrica Balneário Cachoeira Grande Código 25100000 .....                          | 26 |
| ANEXO II - Distribuições de Gumbel e Log-Normal .....                                                                         | 30 |
| ANEXO III - Série de Dados Utilizados – Cotas e Vazões máximas por ano hidrológico, Curva-Chave e Estatísticas da série ..... | 33 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Localização das estações fluviométricas da RHNR sob a responsabilidade da Superintendência Regional de Goiânia.. ..... | 7  |
| Figura 2 - Localização da seção de réguas da estação fluviométrica de Balneário Cachoeira Grande. ....                            | 9  |
| Figura 3 - Localização da estação fluviométrica de Balneário Cachoeira Grande.....                                                | 10 |
| Figura 4 - Perfil transversal da seção de réguas da estação Balneário Cachoeira Grande.....                                       | 11 |
| Figura 5 - Ajuste das distribuições empírica e teórica. ....                                                                      | 19 |
| Figura 6 - Cota mínima de instalação de equipamentos na seção de réguas da estação Balneário Cachoeira Grande. ....               | 21 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Objetivos Gerais da RHNR.....                                                                                   | 14 |
| Tabela 2 - Riscos Hidrológicos .....                                                                                       | 16 |
| Tabela 3 - Probabilidade de não ocorrer ao menos um evento igual ou superior a cheia de T anos em n anos de vida útil..... | 16 |
| Tabela 4 - Critérios para instalação dos equipamentos da RHNR .....                                                        | 17 |
| Tabela 5 - Vazões associadas a diferentes tempos de retorno .....                                                          | 18 |
| Tabela 6 - Cotas para instalação dos equipamentos da estação Balneário Cachoeira Grande.....                               | 20 |

## 1 – INTRODUÇÃO

O estudo das águas superficiais é fundamental para adequada gestão dos recursos hídricos. Para que isto ocorra se faz necessário a implantação de uma rede de monitoramento hidrológico que seja eficiente e capaz de fornecer informações necessárias aos usos múltiplos das águas fluviais.

Conforme Maranhão e Pereira (2017), as primeiras iniciativas institucionais do estabelecimento da Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN, início do século XX, ocorrem através do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalando as primeiras estações no Brasil. Em 1934 o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) estende a atuação hidrológica pelo país. Em 1960 é criado o Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE) que recebe, entre suas atribuições, as atividades de hidrologia nacional. Porém em 1969, com novas competências relacionadas ao setor elétrico, passa a se chamar Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). Também neste ano surge a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), através do Decreto-Lei nº 764, de 15 de agosto de 1969, absorvendo a atividade de manutenção e operação da RHN sob responsabilidade do DNAEE. Em 28 de dezembro de 1994, pela Lei nº 8.970, a CPRM passa a ser uma empresa pública, com funções de Serviço Geológico do Brasil (SGB).

Assim nasce a parceria entre a Agência Nacional de Águas (ANA), criada através da Lei nº 9.984/2000, art.4, inciso 13, e o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), principal parceiro no planejamento, gerenciamento e operação da RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional, através do Acordo de Cooperação Técnica – ACT nº 003/2014, com o intuito de revitalizar a capacitação técnica dos profissionais envolvidos e revisar a rede de monitoramento existente no Brasil.

Em agosto de 2015, ANA e SGB/CPRM firmaram um Memorando de Entendimento com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, *United States Geological Survey*) dedicado à capacitação técnica dos seus profissionais. E a partir deste evento, foi definido pelos especialistas envolvidos a revisão da rede existente, construindo uma Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência – RHNR para atender com excelência as demandas da gestão de recursos hídricos brasileira, promovendo dados confiáveis e representativos. Esta rede deverá atender os interesses da União a partir de 6 objetivos gerais: Transferência e compartilhamento Interestaduais e Internacionais, eventos hidrológicos críticos, balanços e disponibilidades hídricas, mudanças e tendências de longo prazo, qualidade da água e regulação dos recursos hídricos

A Figura 1 mostra a área do projeto da RHNR em 2025, com a localização das 42 estações fluviométricas sob a responsabilidade da Superintendência Regional de Goiânia (SUREG-GO), onde pode-se ver em destaque a bacia do rio Araguaia.

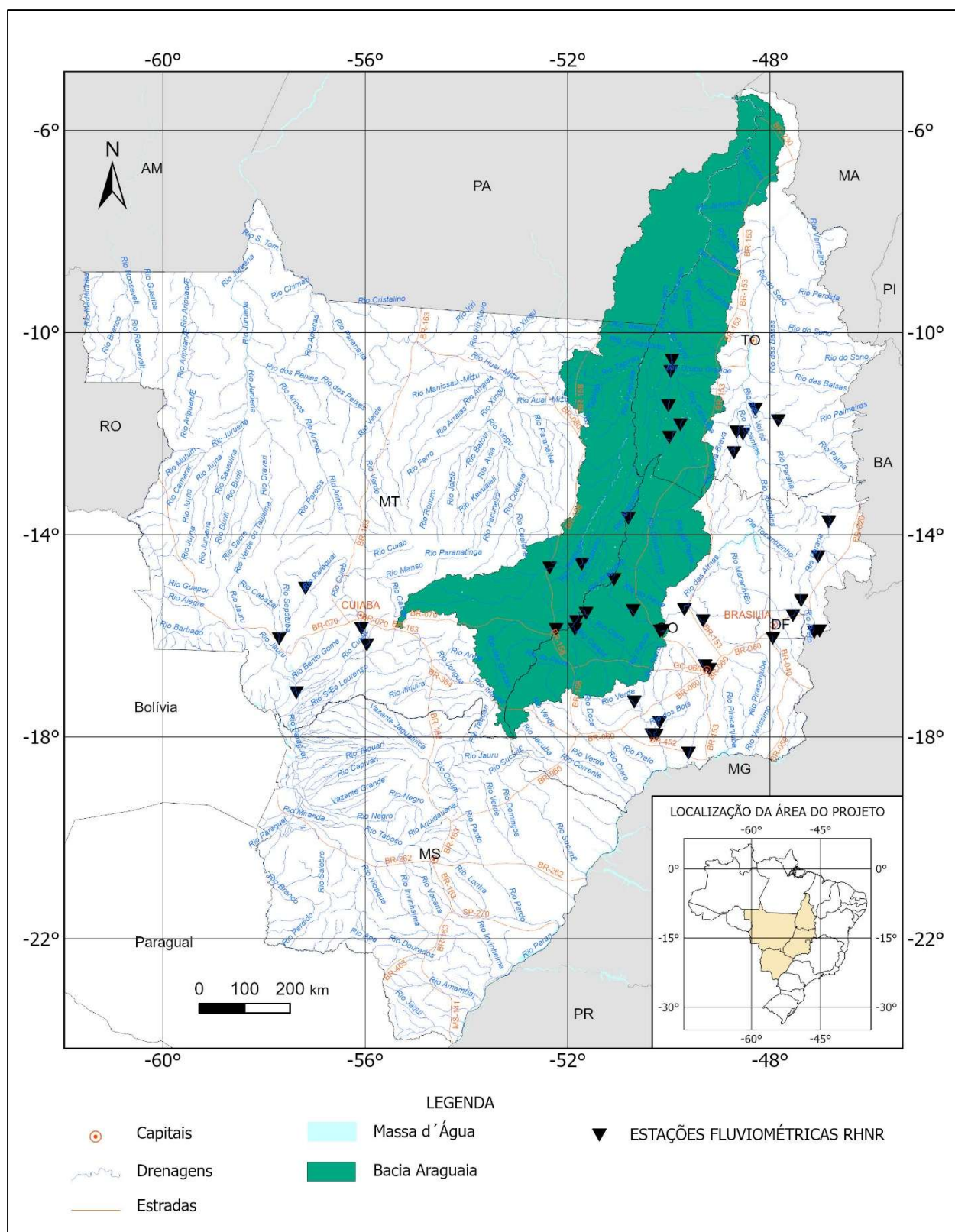


Figura 1 – Localização das estações fluviométricas da RHNR sob a responsabilidade da Superintendência Regional de Goiânia. Fonte: equipe do projeto.

A estação fluviométrica de Balneário Cachoeira Grande, código 25100000, está localizada na Latitude 15° 55' 20" S e Longitude 50° 10' 18" O, instalada na margem esquerda do rio Vermelho, a jusante da cidade de Goiás, estado de Goiás. Com uma área de drenagem de 229 km<sup>2</sup>. Desde fevereiro de 1965 existem réguas linimétricas instaladas para realização de duas leituras diárias dos níveis do rio (7h e 17h) e são realizadas medições de descarga líquida, sendo a seção de medição localizada próximo a seção de réguas. E desde junho de 2017, estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do rio Vermelho.

Ao longo do histórico da estação, houve interrupção das observações durante o período de janeiro de 1972 até julho de 1980. Houve mudança da cota do zero da régua, no retorno das observações em julho de 1980.

A Figura 2 mostra a localização da seção de réguas.

A Figura 3 ilustra a localização da estação de Balneário Cachoeira Grande, no rio Vermelho, pertencente a sub-bacia 25, trecho do alto rio Araguaia. O rio Vermelho é afluente do rio Araguaia pela margem direita.

A bacia hidrográfica do rio Araguaia está localizada na Região Hidrográfica do Tocantins. Sua nascente localiza-se na Serra do Caiapó, paralelo 18°. Após percorrer 720 km, divide-se em dois braços formando a ilha do Bananal, com uma extensão de 375 km. Desemboca na margem esquerda do rio Tocantins, com uma área de drenagem de 365.000 km<sup>2</sup> e um percurso de 1.755 km. Seus principais afluentes são: Rio Caiapó, Rio das Garças, Rio Claro, Rio Vermelho, Rio das Almas e Rio das Mortes.

Maiores detalhes sobre a estação podem ser encontrados na sua ficha descritiva, no Anexo 1.

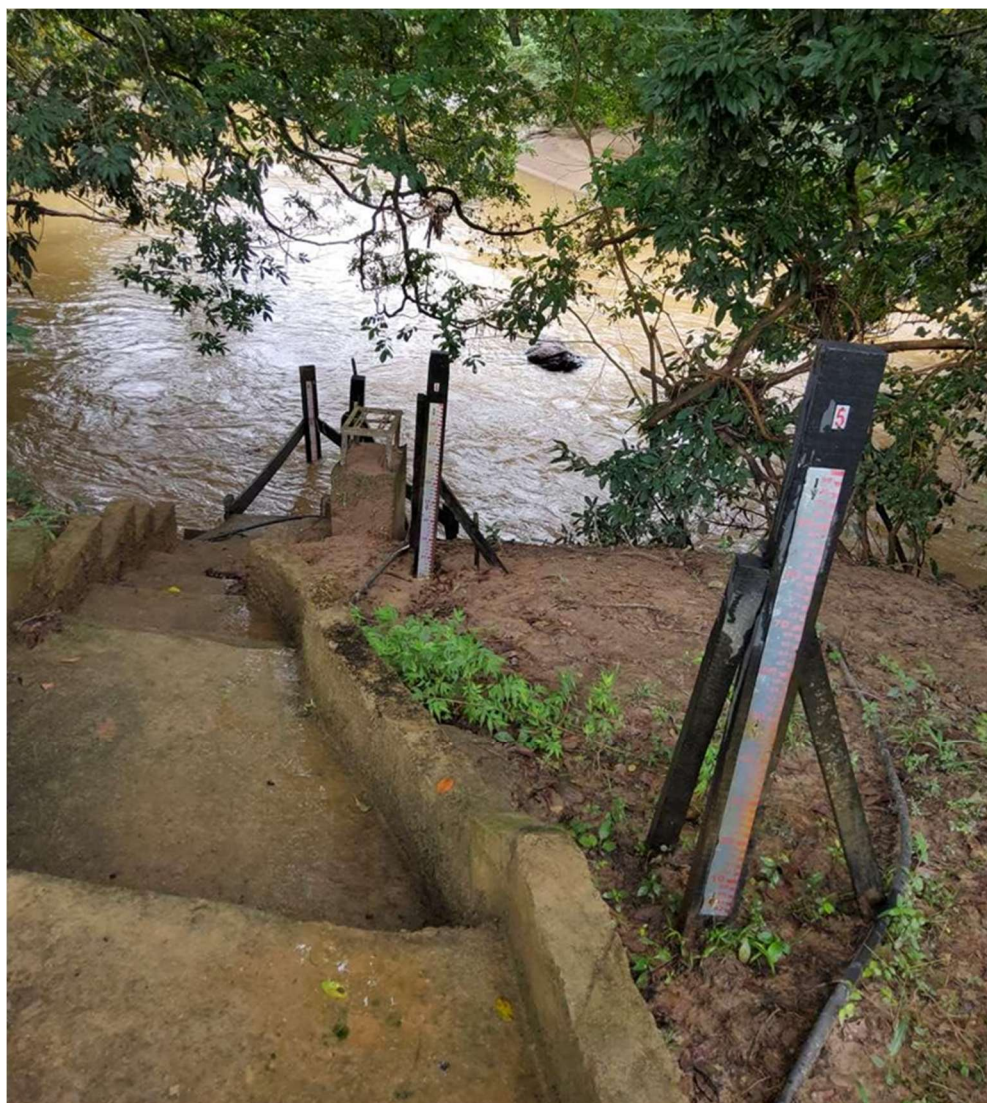
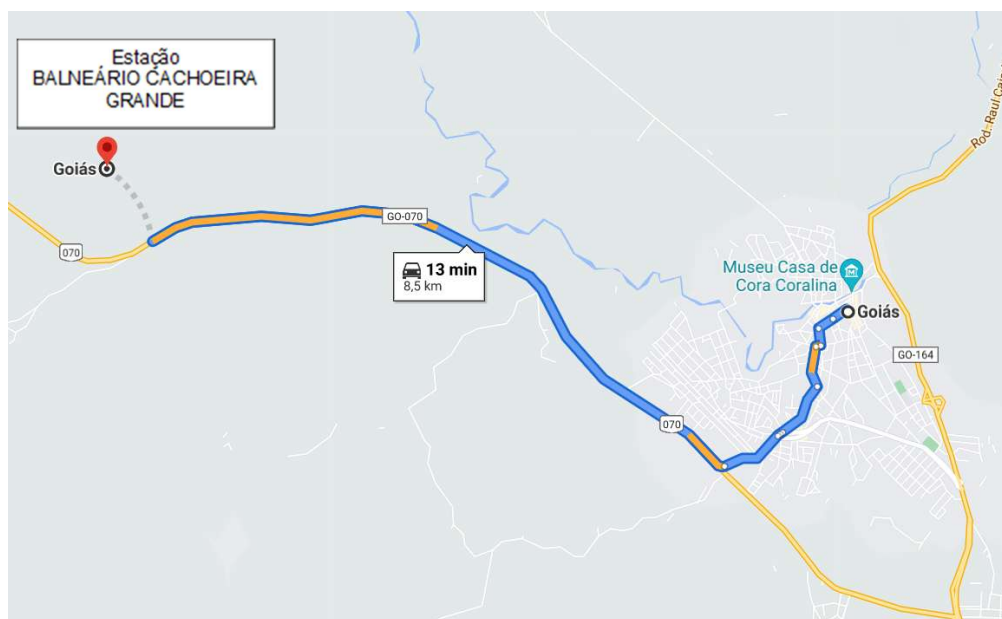


Figura 2 - Localização da seção de réguas da estação fluviométrica de Balneário Cachoeira Grande.

Fonte: arquivo fotográfico do Projeto da RHN e ficha descritiva da estação.

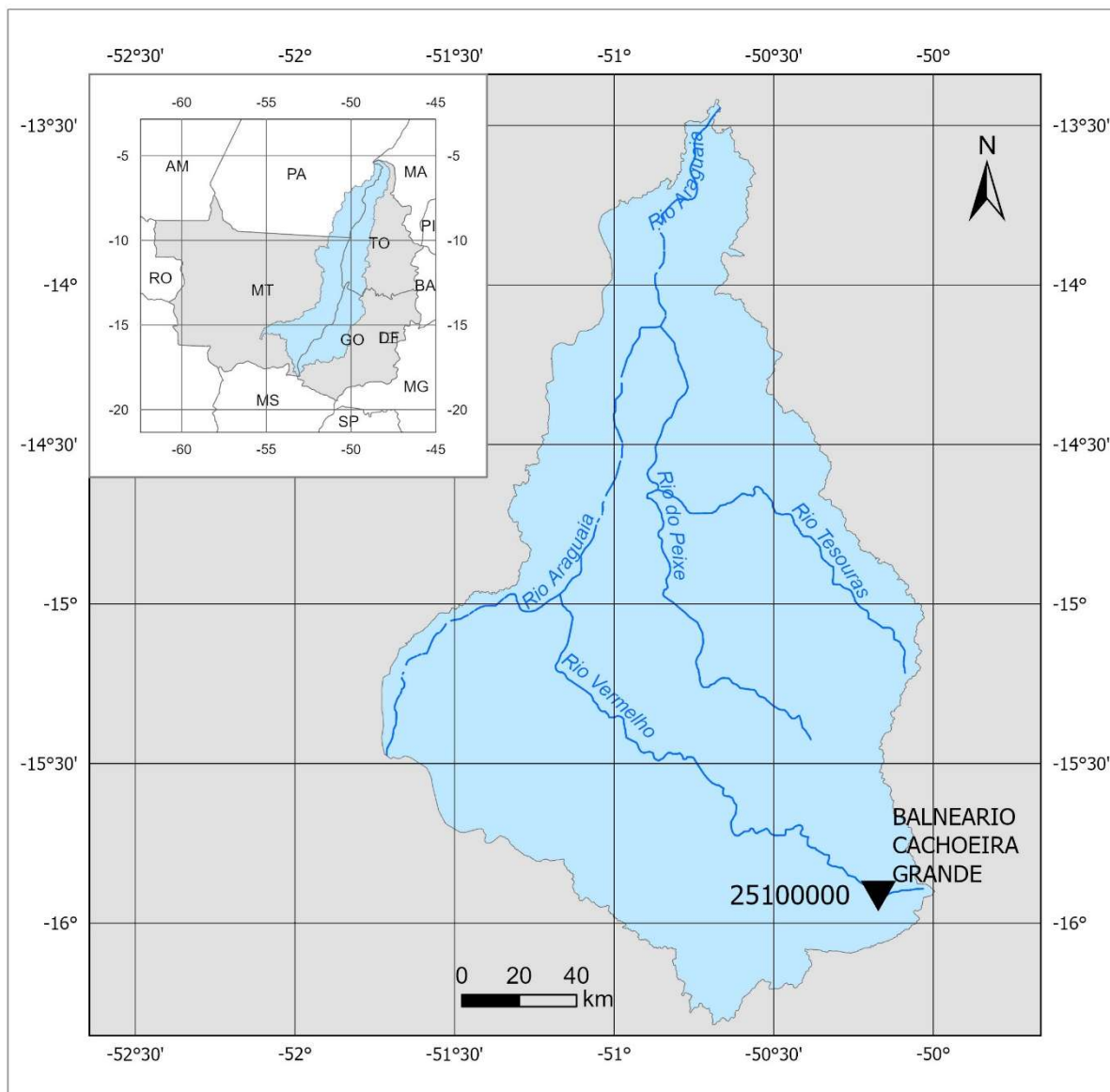


Figura 3 - Localização da estação fluviométrica de Balneário Cachoeira Grande.

Fonte: Equipe do projeto.

A Figura 4 apresenta o perfil transversal na seção de réguas da estação, levantado em 2021, com as medições simultâneas de vazões e cotas realizadas entre agosto de 1980 e abril de 2025. A máxima cota observada nas réguas, com valor de 554 cm, ocorreu em 31/12/2001 e a cota máxima medida, com valor de 198 cm, ocorreu em 01/02/1985. A diferença entre a máxima cota observada e a máxima cota medida é de 356 cm.

A série de cotas máximas por ano hidrológico, apresentada no Anexo III, apresenta todos os 44 valores superiores a 198 cm, cota da vazão máxima medida. A razão entre a cota máxima observada e a cota máxima com medição de vazão é 2,80 (554 cm / 198 cm), sendo então uma extrapolação de 356 cm. Essa extrapolação está acima do valor ideal, pois segundo Tucci (2002), a melhor curva-chave, com menor

extrapolação do tramo superior, possui a razão entre as cotas máximas observadas e com medição de vazão inferior a 1,25. Necessitando da realização de mais medições acima da cota máxima medida 198 cm.

As características mencionadas no parágrafo anterior criam dificuldades para a extrapolação do tramo superior da curva-chave e ampliam a incerteza na estimativa das vazões a partir das cotas superiores a tal máxima medida de 198 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.

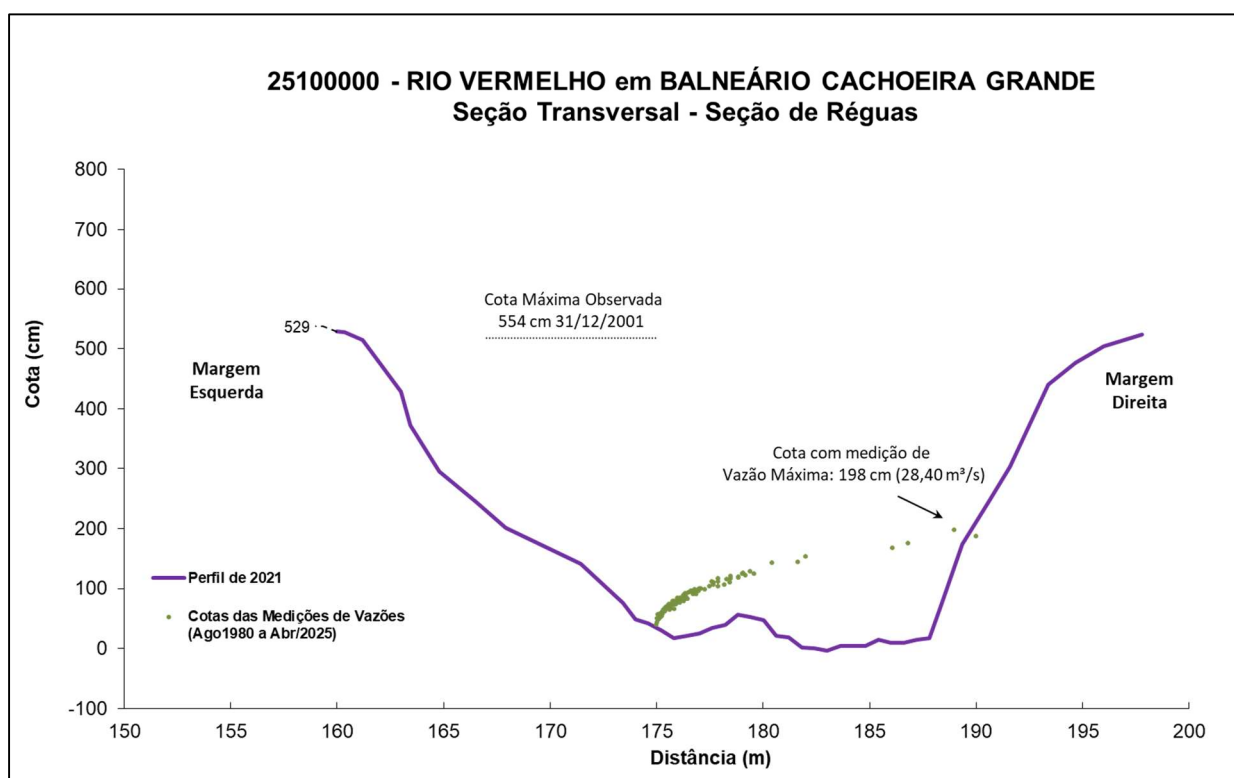


Figura 4 - Perfil transversal da seção de réguas da estação Balneário Cachoeira Grande. Fonte: elaborado pelos autores.

## 2 – METODOLOGIA

### 2.1 – 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 ou civil e aceitável no mínimo 15 anos hidrológicos ou civil.

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

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

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); verificar a presença de erro de metro nas cotas; verificar a presença de erro de 1/2 metro nas cotas; verificar a presença de erro de digitação; comparar a cota máxima com a cota média diária; avaliar o comportamento dos cotagramas 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 ou civil 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 ou civil.

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. Nos estudos de análise de frequência local de máximos por ano hidrológico ou civil do projeto de Regionalização são adotadas as distribuições candidatas de 02 parâmetros conforme recomendação de Hosking e Wallis (1997). As distribuições candidatas são as distribuições de Gumbel e Log-Normal.

- 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.

## 2.2 – Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência

Segundo o relatório Maranhão e Pereira (2017), a implantação da Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR) buscará atender os interesses da União agrupados em 6 (seis) objetivos gerais. A Tabela 1 apresenta estes objetivos.

Tabela 1 - Objetivos Gerais da RHNR

| Nº | Objetivos Gerais                                                   |
|----|--------------------------------------------------------------------|
| 1  | Transferências e Compartilhamentos Interestaduais e Internacionais |
| 2  | Eventos Hidrológicos Críticos                                      |
| 3  | Balanços e disponibilidades hídricas                               |
| 4  | Mudanças e tendências de longo prazo                               |
| 5  | Qualidade da água                                                  |
| 6  | Regulação dos Recursos Hídricos                                    |

Fonte: elaborado pelos autores.

A locação e instalação de uma estação fluviométrica que comporá uma rede deverá atender vários critérios como os descritos em Maranhão e Pereira (2017), World Meteorological Organization (2010), Sauer e Turnipseed (2010), ANA e SGB (2021), Kenney (2010) e Rantz *et al.* (1982). Em relação a instalação de equipamentos automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR) o relatório de Maranhão e Pereira (2017), apresenta os seguintes critérios em relação ao posicionamento dos equipamentos:

Página 27 do arquivo PDF

“...A cota máxima é importante para a posição ideal da PCD, das referências de níveis - RNs e das quantidades de lances de réguas a serem instaladas na futura estação. ...”

Página 33 do arquivo PDF

“...73. Sobre o abrigo da PCD.

Deve estar localizada acima do nível de cheia; ...”

Além de Maranhão e Pereira (2017), destacam-se World Meteorological Organization (2010) e Sauer e Turnipseed (2010) como referências que tratam sobre este tema de locação de estação fluviométrica e posicionamento de equipamentos.

World Meteorological Organization (2010) sugere os seguintes critérios para posicionamento de equipamentos em uma estação fluviométrica: “...

- **Os instrumentos, abrigo e outra edificação devem estar acima de todos os níveis de inundação registrados. Sensores de nível devem permitir tanto a medição de inundações como de secas. ...**

Em relação aos níveis altos da água (cotas altas), World Meteorological Organization (2010), além do item acima, também afirma que “...devem ser pesquisadas as marcas de cheia de grandes enchentes do passado, bem como indagado aos moradores locais sobre os níveis de enchentes históricas. Essas informações deverão ser utilizadas pelo engenheiro para tomar uma decisão sobre a elevação na qual o

registrador de níveis (cotas) deve ser instalado para ficar acima de quaisquer enchentes que provavelmente ocorrerão no futuro. O abrigo do registrador deve ser instalado de forma a ser protegido de detritos transportados durante grandes enchentes. Também devem ser pesquisadas evidências sobre grandes mudanças no curso d'água, incluindo erosão e deposição nas margens que ocorreram durante enchentes notáveis do passado. Essas evidências, se encontradas, dão alguma indicação de mudanças que podem ser esperadas na ocorrência de grandes enchentes do futuro..." (Tradução livre).

Sauer e Turnipseed (2010) sugerem vários critérios para a escolha do local de instalação uma nova estação fluviométrica que fará parte da *USGS National Streamflow Information System (NSIP)*. Em relação ao posicionamento de equipamentos faz as seguintes menções: "...

- O poço tranquilizador, por exemplo o tubulão do linígrafo (se usado), e o abrigo do instrumento registrador dos níveis dá água (cotas) podem estar localizados em uma margem do curso d'água, ponte, represa ou outra estrutura adequada, desde que os outros critérios de seleção do local sejam atendidos. **Não instale a estrutura que abrigará os equipamentos registradores de nível (cota) onde ela possa sofrer danos durante enchentes.**
- **O abrigo de instrumentos deve ser instalado em uma cota alta o suficiente para estar acima do nível de inundação de 0,5% de excedência (200 anos), se possível. ...**

Analisando as recomendações de World Meteorological Organization (2010), Sauer e Turnipseed (2010) e Maranhão e Pereira (2017) fica clara a preocupação com o posicionamento dos equipamentos de forma a garantir a medição dos níveis (cotas) dos grandes eventos de cheias. Sauer e Turnipseed (2010) se diferenciam de World Meteorological Organization (2010) e Maranhão e Pereira (2017) ao definir que os equipamentos devem ser instalados, se possível, em uma cota alta o suficiente para estar acima do nível de inundação de 0,5% de excedência (200 anos), ou seja, um critério objetivo.

Ao se adotar um tempo de retorno,  $T$ , como referência na definição do nível mínimo para instalação dos equipamentos também se assume uma probabilidade de que pelo menos um evento igual ou superior a cheia de  $T$  anos possa ocorrer em  $n$  anos de vida útil. Essa probabilidade é o risco hidrológico,  $R = 1 - [1 - (1/T)]^n$ . No caso de uma estação fluviométrica, a vida útil é o número de anos de operação.

A Tabela 2 apresenta os riscos hidrológicos associados aos tempos de retorno de 100, 200 e 250 anos para diferentes vidas uteis.

Tabela 2 - Riscos Hidrológicos

| T<br>(anos) | “Vida Útil”, $n$ anos de operação da estação fluviométrica |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 20                                                         | 30    | 50    | 69    | 100   | 138   | 173   | 200   | 250   |
| 100         | 18,2%                                                      | 26,0% | 39,5% | 50,0% | 63,4% | 75,0% | 82,4% | 86,6% | 91,9% |
| 200         | 9,5%                                                       | 14,0% | 22,2% | 29,2% | 39,4% | 49,9% | 58,0% | 63,3% | 71,4% |
| 250         | 7,7%                                                       | 11,3% | 18,2% | 24,2% | 33,0% | 42,5% | 50,0% | 55,1% | 63,3% |

Fonte: elaborado pelos autores.

Quando o risco hidrológico supera 50%, a probabilidade de ocorrer pelo menos um evento igual ou superior a cheia de  $T$  anos em  $n$  anos de vida útil é maior que a probabilidade de não ocorrer pelo menos uma vez tal evento. Observa-se na Tabela 2, que o risco hidrológico para eventos de 100 anos de tempo de retorno passa a ser superior a 50% quando a vida útil é maior que 69 anos. No caso de eventos de 200 anos de tempo de retorno, o risco hidrológico será maior que 50% quando a vida útil superar 138 anos e, 173 anos no caso de tempo de retorno de 250 anos.

De forma inversa, a Tabela 3 apresenta as probabilidades de não ocorrer ao menos um evento igual ou superior a cheia de  $T$  anos em  $n$  anos de vida útil.

Tabela 3 - Probabilidade de não ocorrer ao menos um evento igual ou superior a cheia de  $T$  anos em  $n$  anos de vida útil.

| T<br>(anos) | “Vida Útil”, $n$ anos de operação da estação fluviométrica |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 20                                                         | 30    | 50    | 69    | 100   | 138   | 173   | 200   | 250   |
| 100         | 81,8%                                                      | 74,0% | 60,5% | 50,0% | 36,6% | 25,0% | 17,6% | 13,4% | 8,1%  |
| 200         | 90,5%                                                      | 86,0% | 77,8% | 70,8% | 60,6% | 50,1% | 42,0% | 36,7% | 28,6% |
| 250         | 92,3%                                                      | 88,7% | 81,8% | 75,8% | 67,0% | 57,5% | 50,0% | 44,9% | 36,7% |

Fonte: elaborado pelos autores.

Baseando-se nas recomendações de World Meteorological Organization (2010), Sauer e Turnipseed (2010) e Maranhão e Pereira (2017), considerando os objetivos gerais da RHN, bem como a ocorrência das grandes cheias no Brasil, como por exemplo a enchente de maio de 2024 no Rio Grande do Sul, e com o objetivo de garantir a medição dos níveis (cotas) dos grandes eventos de cheias que podem ocorrer no futuro, sugere-se os critérios apresentados na Tabela 4 para definição da cota mínima para instalação dos equipamentos da Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR).

Tabela 4 - Critérios para instalação dos equipamentos da RHNR

| Objetivos gerais                                                                | CRITÉRIO – Considerando o objetivo da estação fluviométrica, instalar os equipamentos de registro de níveis na maior cota entre as opções. |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Transferências e Compartilhamentos Interestaduais e Internacionais <sup>1</sup> | A cota associada a cheia de 200 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)                 |
| Eventos Hidrológicos Críticos <sup>2</sup>                                      | A cota associada a cheia de 250 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)                 |
| Balanços e disponibilidades hídricas <sup>3</sup>                               | A cota associada a cheia de 100 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)                 |
| Mudanças e tendências de longo prazo <sup>1</sup>                               | A cota associada a cheia de 200 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)                 |
| Qualidade da água <sup>1</sup>                                                  | A cota associada a cheia de 200 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)                 |
| Regulação dos Recursos Hídricos <sup>3</sup>                                    | A cota associada a cheia de 100 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)                 |

1-O registro de grandes cheias é importante para garantir o atendimento dos objetivos, bem como, preservar os equipamentos caros dos efeitos deletérios da passagem de uma enchente.

2-Os eventos críticos de maio de 2024 no Rio Grande do Sul ensinaram a importância de não se perder os equipamentos na passagem de eventos raros.

3-O atendimento dos objetivos não será significativamente prejudicado se houver a perda do registro da passagem de eventos de grandes cheias.

Fonte: elaborado pelos autores.

## 3 – RESULTADOS

### 3.1 – Análise de Frequência Local

A análise de frequência local das vazões do rio Vermelho em Balneário Cachoeira Grande, código 25100000, foi efetuada utilizando a série de vazões máximas por ano hidrológico (01/Out a 30/Set) apresentadas no Anexo III. As hipóteses nulas dos teste de independência, de homogeneidade e de estacionariedade foram aceitas com níveis de significância de 5%, 2,5% e 2,5%, respectivamente. 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 selecionada por apresentar menor desvio padrão dos resíduos entre a distribuição empírica e a teórica, e melhor ajuste visual no papel de probabilidades.

A Figura 5 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas.

A inversa da distribuição Log-Normal é a calculada da seguinte forma:

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

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 (4,7443)

$\sigma$  é o parâmetro de escala (0,3542)

A equação 1 permite o cálculo das vazões associadas a diferentes tempos de retorno. A Tabela 5 apresenta as vazões associadas a diferentes tempos de retorno.

Tabela 5 - Vazões associadas a diferentes tempos de retorno

|               | Tempo de Retorno, T (anos) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|               | 10                         | 15  | 20  | 25  | 30  | 50  | 75  | 90  | 100 | 150 | 200 | 250 |
| Vazões (m³/s) | 181                        | 196 | 206 | 214 | 220 | 238 | 252 | 258 | 262 | 276 | 286 | 294 |

Fonte: elaborado pelos autores.

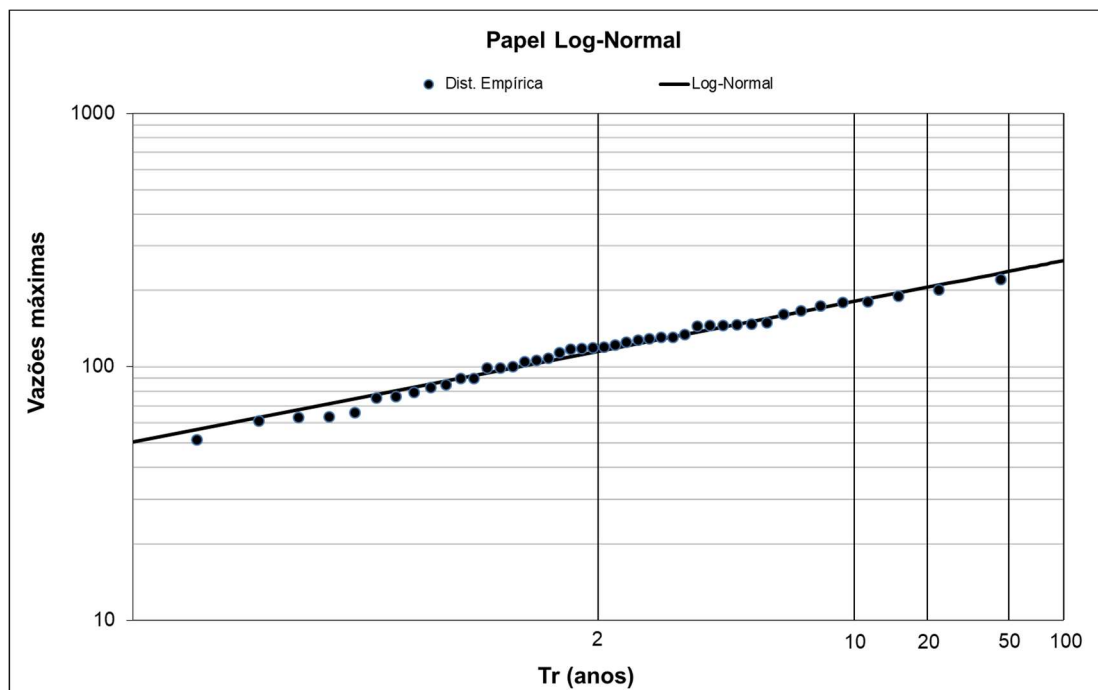


Figura 5 - Ajuste das distribuições empírica e teórica. Fonte: elaborado pelos autores.

### 3.2 – Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência

Após o cálculo das vazões associadas a diferentes tempos de retorno é possível estimar as respectivas cotas invertendo a curva chave da estação fluviométrica.

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial como apresentada no Anexo III.

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

Onde:

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

$Q(h)$  é a vazão calculada para a cota  $h$  (m³/s);

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

A inversa da equação da curva chave é a seguinte:

$$h = \left( \frac{Q}{a} \right)^{1/n} + h_o \quad (2)$$

Os parâmetros das curvas chave de diferentes períodos e amplitudes de cotas encontram-se no Anexo III.

Os critérios para definição das cotas mínimas de instalação dos equipamentos da

RHNR, dependendo do objetivo da estação fluviométrica, estão apresentados na Tabela 4. Um critério comum a todos os objetivos das estações fluviométricas é “a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0 m (um metro)”.

O critério definido para a estação Balneário Cachoeira Grande foi conforme o objetivo 2: “Eventos Hidrológicos Críticos”, apresentado na Tabela 4, sendo a cota associada a cheia de 250 anos de tempo de retorno. Esta vazão foi calculada como ilustrado no item 4-Exemplos de Aplicação e os valores constam da Tabela 5. O cálculo das cotas associadas a estas vazões é realizado empregando a equação 2 e adotando os parâmetros da curva chave mais recente, apresentados no Anexo III.

A cota máxima observada na estação de Balneário Cachoeira Grande, foi de 554 cm, ocorrida em 31/12/2001, data em que ocorreu o trasbordamento do rio Vermelho, com inundação na cidade de Goiás, causando a destruição de parte do casario histórico.

A cidade de Goiás que foi fundada em 1727, município tombado pelo IPHAN em 1978, e acabava de ser reconhecido em 2001 como Patrimônio Mundial pela UNESCO. Tinha sua arquitetura barroca até então preservada, sendo posteriormente restaurada após tal evento hidrológico crítico (Goiás, 2025).

Portanto, a instalação de equipamentos para medição de cheias nessa estação torna-se importante para registrar a ocorrência no futuro de possíveis eventos como esse em 2001.

A vazão associada a cota máxima observada de 554 cm foi calculada, sendo o valor de 222 m<sup>3</sup>/s, utilizando a curva-chave com período de validade de 07/10/1991 a 06/02/2015 e amplitude de cotas de 125 a 555 cm (Anexo III).

A Tabela 6 resume os critérios de definição da cota mínima para instalação dos equipamentos da estação Balneário Cachoeira Grande.

Tabela 6 - Cotas para instalação dos equipamentos da estação Balneário Cachoeira Grande.

| CRITÉRIO                                                    | Q (m <sup>3</sup> /s) | Cota (cm)                |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Cota associada a cheia de 250 anos de tempo de retorno      | 294                   | 659                      |
| Cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro) | 291                   | 654 cm (554 cm + 100 cm) |

Fonte: elaborado pelos autores.

Portanto, a cota de instalação dos equipamentos deve ser superior a 659 cm. A Figura 6 ilustra o posicionamento dos equipamentos no perfil transversal da seção de régua da estação, levantado em 2021, com cota máxima observada de 554 cm.

Assim recomenda-se que os perfis anuais sejam levantados em cotas superiores à tais cotas nas duas margens, pois auxiliará na extrapolação do tramo superior da curva chave, caso ocorra cheias maiores que a cota máxima registrada de 554 cm, ocorrida em 2001 no rio Vermelho, na estação Balneário Cachoeira Grande.

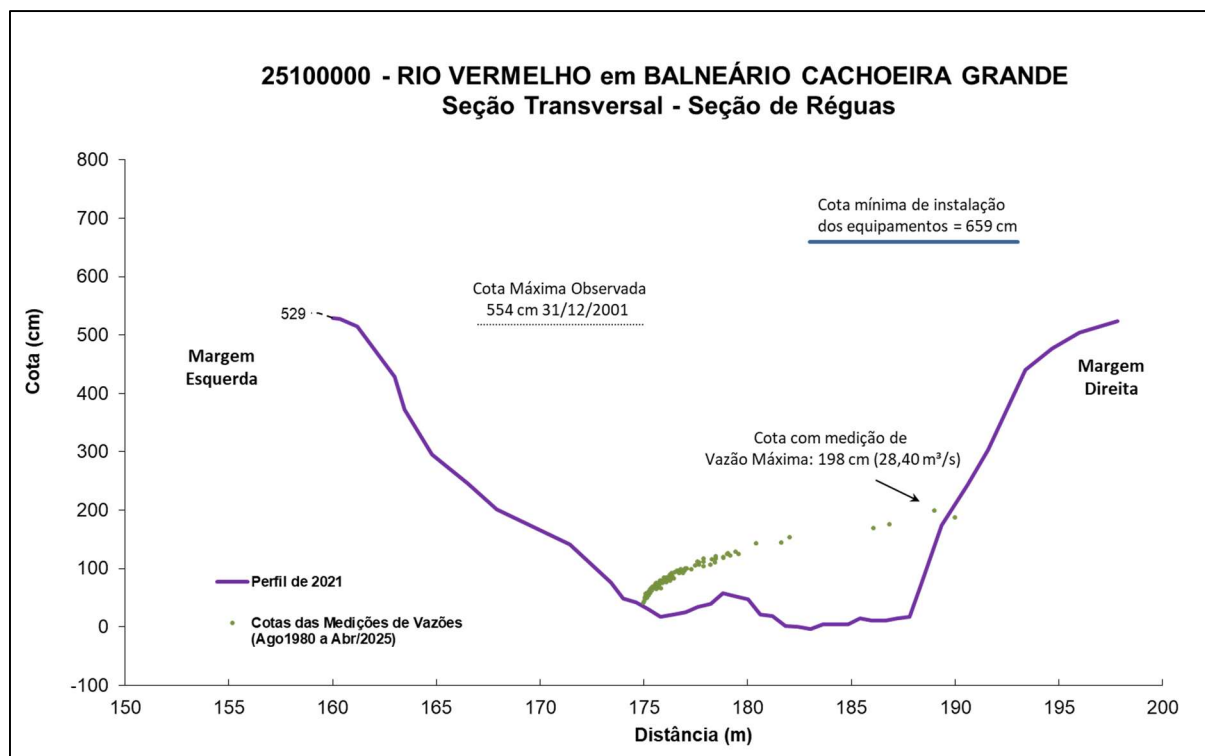


Figura 6 - Cota mínima de instalação de equipamentos na seção de réguas da estação Balneário Cachoeira Grande. Fonte: elaborado pelos autores.

## 4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) O rio Vermelho em Balneário Cachoeira Grande, código 25100000, alcançou a cota de 554 cm durante a cheia em 31/12/2001, que inundou a cidade de Goiás. Qual é o tempo de retorno da vazão associada a esta cota?

*Resp: Inicialmente será necessário calcular a vazão associada à cota de 554 cm com a curva-chave válida para a data de 31/12/2001, utilizando a equação AIII-01 (Anexo III) com amplitude de cotas de 125 a 555 cm e validade de 07/10/1991 a 06/02/2015.*

*Para a cota 554 cm os parâmetros são  $a = 25,3207$ ;  $h_o = 0,82$  m e  $n = 1,4$  (Anexo III). Dessa forma temos:*

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

$$Q(554 \text{ cm}) = 25,3207 (554/100 - 0,82)^{1,4}$$

$$Q(554 \text{ cm}) = 222,33 \text{ m}^3/\text{s}$$

*Para se calcular o respectivo tempo de retorno será necessário estimar a variável Normal Padrão da equação 1. Dessa forma temos:*

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} \quad (2)$$

*A vazão calculada foi de 222,33 m<sup>3</sup>/s, o parâmetro de posição é  $\mu = 4,744$ , e o de escala é  $\sigma = 0,354$ . Substituindo os valores na equação 2 temos:*

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} = \frac{(\ln(222,33) - 4,744)}{0,354} = 1,865$$

*Levando o valor 1,865 em uma tabela de inversa da distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMP.N do Excel obtém-se:  $P(Z \leq 1,865) = 0,969$ .*

*O tempo de retorno será:*

$$T = \frac{1}{1 - P(Z \leq z)} = \frac{1}{1 - 0,969} = 32,2 \text{ anos}$$

*O tempo de retorno de 32 anos corresponde à probabilidade de 3,12% da vazão 222,33 m<sup>3</sup>/s (associada à cota 554 cm) ser igualada ou superada em um ano qualquer, ou:*

$$P(x_T \geq 222,33 \text{ m}^3/\text{s}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{32} 100 = 3,12 \%$$

b) Qual é o tempo de retorno da vazão máxima medida (associada à maior cota registrada com medição de vazão) em Balneário Cachoeira Grande, código 25100000?

Resp: A maior cota registrada com medição de vazão em Balneário Cachoeira Grande é 198 cm e a respectiva vazão é 28,4 m<sup>3</sup>/s (01/02/1985).

Com os parâmetros da distribuição de Log-Normal a partir da equação 2 se obtém  $Z_{(1-1/T)}$  e por consequência  $P(Z \leq z)$ .

Por fim, como no primeiro exemplo, temos que o tempo de retorno da vazão associada à cota de 198 cm é de 1,0 ano. A probabilidade da vazão associada a essa cota ser igualada ou superada em um ano qualquer é de 100%.

c) Qual a vazão com tempo de retorno de 100 anos em Balneário Cachoeira Grande, código 25100000?

Resp: Considerando os parâmetros de posição e de escala da curva de distribuição obtida no estudo (Log-Normal), calcula-se a inversa da distribuição Normal Padrão para T=100 anos (INV.NORMP do Excel), obtendo-se  $Z_{(1-1/T=0,99)} = 2,32635$ .

Aplicando a equação (1) obtém-se a vazão de 261,78 m<sup>3</sup>/s:

$$x_T = EXP(4,744 + 0,354 \cdot 2,32635) = 261,78 \text{ m}^3/\text{s}$$

O tempo de retorno de 100 anos corresponde à probabilidade de 1,0% da vazão 261,78 m<sup>3</sup>/s ser igualada ou superada em um ano qualquer, ou:

$$P(x_T \geq 261,78 \text{ m}^3/\text{s}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{100} 100 = 1 \%$$

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil); SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Levantamentos topobatimétricos e geodésicos aplicados na Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN)**. Brasília, DF: ANA: CPRM, 2021. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22628> . Acesso em: 28 out. 2025.
- GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado da Cultura. **Cidade de Goiás**: 18 mar. 2025. Disponível em: <https://goias.gov.br/cultura/cidade-de/>. Acesso em: 28 out. 2025.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis**: an approach based on L-moments. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. ISBN: 9780511529443. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529443>.
- KENNEY, T. A. **Levels at gaging stations**: section A, Surface-Water Techniques. [S.l.]: U.S. Geological Survey, 2010. cap. 3., 60 p. (Techniques and Methods 3 – A19). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/tm/tm3A19/tm3A19.pdf>. Acesso em: 28 out. 2025.
- MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On the test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, n. 1, p. 50-60, 1947. DOI: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>.
- MARANHÃO, N.; PEREIRA, S. P. (coord.). **Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência – RHNR**: relato do planejamento da RHNR e a definição das estratégias de implementação para os próximos anos (5 anos). [Brasília]: [CPRM: ANA], 2017. Grupo de Trabalho ANA-CPRM. Portaria ANA n. 151, de 31 de março de 2016. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22172>. Acesso em: 28 out. 2025.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/454>. Acesso em: 28 out. 2025.
- PINTO, E. J. de 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.sgb.gov.br/handle/doc/11560>. Acesso em: 28 out. 2025.
- RANTZ, S. E. *et al.* **Measurement and computation of streamflow**: volume 2. Computation of discharge. Washington: USGS, 1982. v. 2, 631 p. (Geological Survey Water-Supply Paper 2175). Disponível em: [https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2175/wsp2175\\_vol2.pdf](https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2175/wsp2175_vol2.pdf). Acesso em: 28 out. 2025.
- SAUER, V. B.; TURNIPSEED, D. P. **Stage measurement at gaging stations**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2010. cap. 3, 45 p. (Techniques and Methods 3–A7). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/tm/tm3-a7/tm3a7.pdf>. Acesso em: 28 out. 2025.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Brasília: ABRH, 2002. 256 p. ISBN 978-8588686403.

WALD, A.; WOLFOWITZ, J. An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 14, n. 4, p. 378-388, 1943. DOI: 10.1214/aoms/1177731358. Disponível em: <https://projecteuclid.org/journals/annals-of-mathematical-statistics/volume-14/issue-4/An-Exact-Test-for-Randomness-in-the-Non-Parametric-Case/10.1214/aoms/1177731358.short>. Acesso em: 28 out. 2025.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on stream gauging**. Geneva: WMO, 2010. v. 1. (Fieldwork WMO-No. 1044). Disponível em: <https://library.wmo.int/idurl/4/35848>. Acesso em: 28 out. 2025.

## ANEXO I

Ficha Descritiva da Estação Fluviométrica Balneário Cachoeira Grande

Código 25100000

## FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

### Identificação

|                      |               |                |            |               |               |
|----------------------|---------------|----------------|------------|---------------|---------------|
| Código:              | 25100000      | Estação:       | BALNEÁRIO  | Tipo:         | FDQT          |
| Região hidrográfica: | Rio Tocantins |                |            | Sub-bacia:    | 25            |
| Rio:                 | RIO VERMELHO  |                |            | Bacia local:  | do Tocantins- |
| Município:           | Goiás         | Estado:        | GO         | Roteiro:      | 98            |
| Latitude:            | -15.9225      | Longitude:     | -50.1723   | Altitude (m): | 474           |
| Instrumento:         | GPS GARMIN 45 | Datum:         | WGS 84     |               |               |
| Área de dren. (km²): | 224           | Instalada em:  | 03/02/1965 | Extinta em:   |               |
| Coordenador:         | ANA           | Operador:      | CPRM/GO    |               |               |
| Código da folha:     | 2030          | Nome da folha: | GOIÁS      |               |               |
| Órgão executor:      | IBGE          | Ano:           | 1974       | Escala:       | 1:100.000     |

### Localização

A ESTAÇÃO ESTÁ LOCALIZADA APROXIMADAMENTE A 5km JUSANTE DA CIDADE DE GOIÁS, JUNTO AO BALNEÁRIO CACHOEIRA GRANDE.

### Acessibilidade

PARTINDO DA CIDADE DE GOIÁS, PELA RODOVIA GO-070, EM DIREÇÃO A CIDADE DE ITAPIRAPUÃ. TRAFEGAR 04 Km E CONVERTER A DIREITA NA POUSADA EUCALIPTO, ENTRADA PARA O BALNEÁRIO CACHOEIRA GRANDE, ONDE SE ENCONTRA A ESTAÇÃO.

### Seção de réguas

Margem: Margem esquerda  
Réguas:  
LANCES  
00/200; 200/300; 300/400; 400/500; 500/600; 600/700 cm

### Referências de nível

RN-01 = 6744 mm, RN-03 = 4437 mm e RN-05 = 9072 mm

### Seções e processos de medição

SEÇÃO DE MEDIÇÃO 50 METROS A MONTANTE DAS RÉGUAS.  
MEDIÇÃO A VAU.

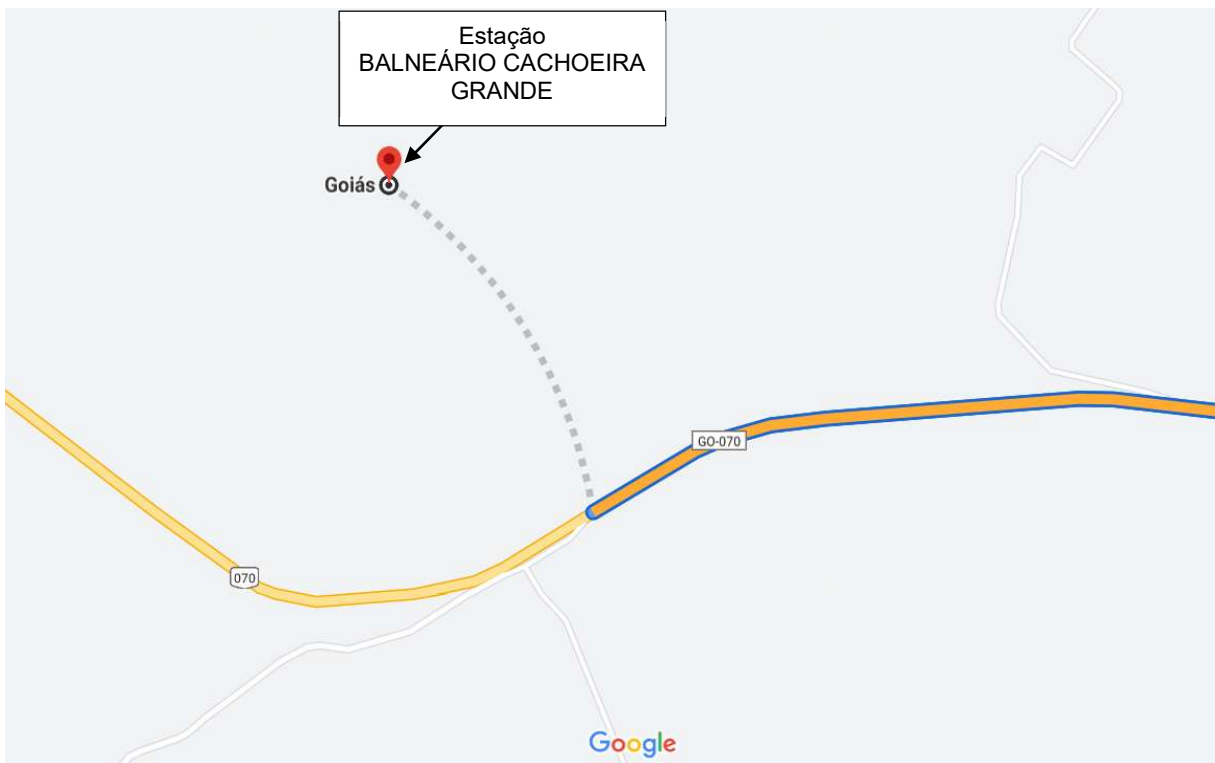
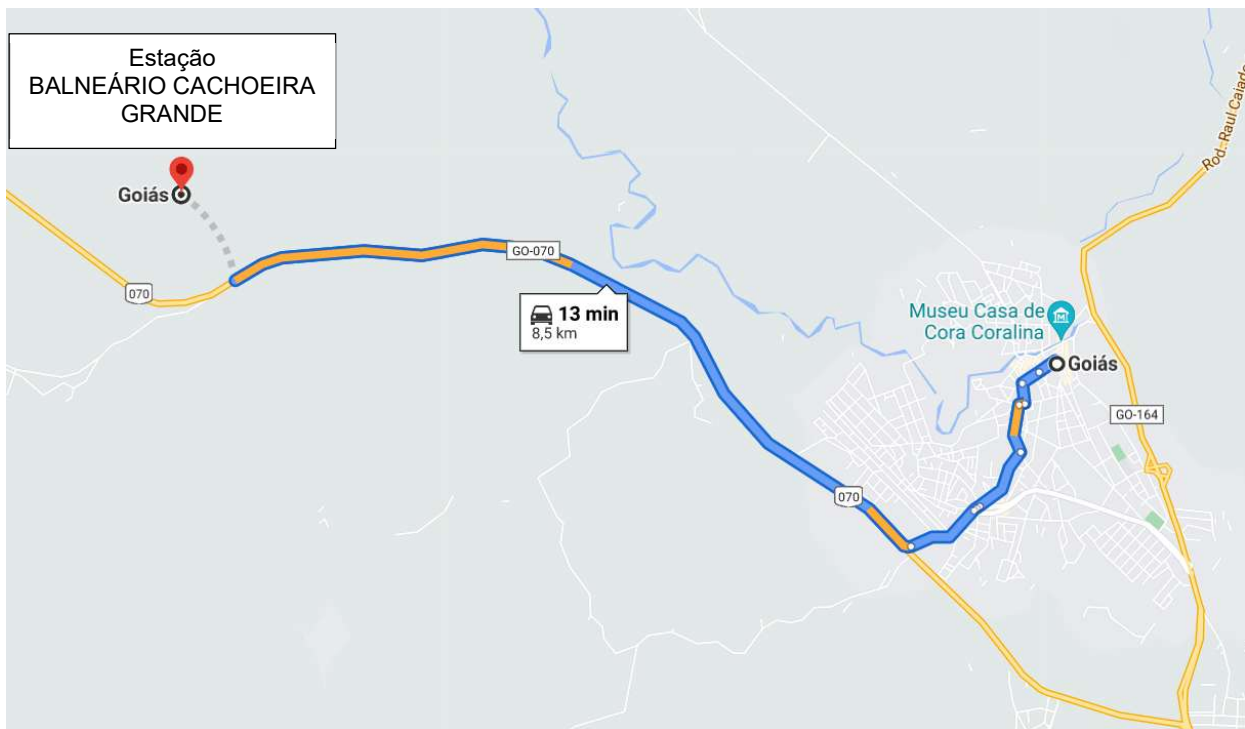
Processo de medição: Vau

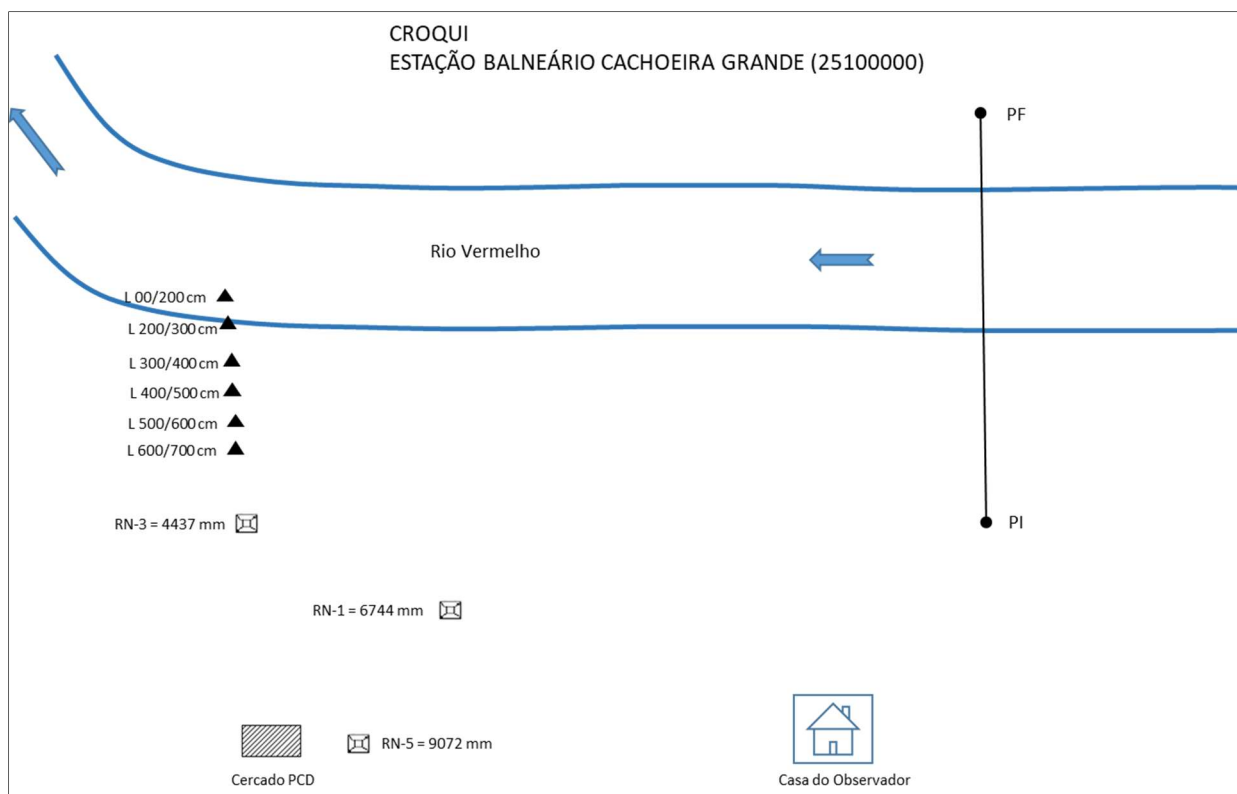
### Observações

Objetivo da estação na RHNR: OB2-Eventos Hidrológicos Críticos  
DISTANCIA PI-PF = 39,0 METROS

### Equipamentos

PCD HOBECO MAW S-55  
nº serie: 160405 HBS ; nº ANA: 025.621 ; nº CPRM: 650.98570337  
Leitura do nível de água é feita por sensor de pressão. Pluviômetro TB4  
ID: B56D62AE





## ANEXO II

### Distribuições de Gumbel e Log-Normal

## 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

$$\hat{\alpha} = \frac{l_2}{\ln(2)} \qquad \hat{\beta} = \frac{l_1}{\gamma_E}$$

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)

## 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 III

Série de Dados Utilizados

Cotas e Vazões máximas por ano hidrológico

Curva-Chave

Estatísticas da série

Série de Dados Utilizados – Cotas (cm) e Vazões (m³/s)  
Máximos por ano hidrológico (01/Out a 30/Set)

| N  | AI   | AF   | Data       | Hora  | Cota (cm) | Vazão (m³/s) | Observações                                 |
|----|------|------|------------|-------|-----------|--------------|---------------------------------------------|
| 1  | 1980 | 1981 | 28/03/1981 | ---   | 480       | 174,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 2  | 1981 | 1982 | 13/01/1982 | ---   | 506       | 190,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 3  | 1982 | 1983 | 20/01/1983 | ---   | 524       | 202,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 4  | 1983 | 1984 | 20/11/1983 | ---   | 386       | 118,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 5  | 1984 | 1985 | 29/01/1985 | ---   | 439       | 148,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 6  | 1985 | 1986 | 24/03/1986 | ---   | 380       | 114,23       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 7  | 1986 | 1987 | 15/03/1987 | 07:00 | 352       | 98,94        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 8  | 1987 | 1988 | 12/02/1988 | ---   | 365       | 106,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 9  | 1988 | 1989 | 13/02/1989 | 17:00 | 386       | 117,59       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 10 | 1989 | 1990 | 18/12/1989 | ---   | 490       | 180,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 11 | 1990 | 1991 | 10/01/1991 | ---   | 282       | 63,73        | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 12 | 1991 | 1992 | 01/02/1992 | ---   | 400       | 127,90       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 13 | 1992 | 1993 | 20/12/1992 | ---   | 429       | 144,52       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 14 | 1993 | 1994 | 23/12/1993 | 07:00 | 390       | 122,31       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 15 | 1994 | 1995 | 10/02/1995 | ---   | 457       | 161,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 16 | 1995 | 1996 | 28/12/1995 | ---   | 363       | 108,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 17 | 1996 | 1997 | 12/12/1996 | ---   | 384       | 119,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 18 | 1997 | 1998 | 04/04/1998 | 17:00 | 330       | 90,31        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 19 | 1998 | 1999 | 07/03/1999 | ---   | 350       | 100,66       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 20 | 1999 | 2000 | 12/11/1999 | ---   | 358       | 105,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 21 | 2000 | 2001 | 16/12/2000 | 07:00 | 489       | 180,68       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 22 | 2001 | 2002 | 31/12/2001 | ---   | 554       | 222,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 23 | 2002 | 2003 | 07/02/2003 | 17:00 | 270       | 61,28        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 24 | 2003 | 2004 | 21/03/2004 | 07:00 | 300       | 75,39        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 25 | 2004 | 2005 | 20/01/2005 | 07:00 | 302       | 76,36        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 26 | 2005 | 2006 | 13/12/2005 | 17:00 | 386       | 120,09       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 27 | 2006 | 2007 | 13/02/2007 | 07:00 | 432       | 146,28       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 28 | 2007 | 2008 | 13/03/2008 | ---   | 467       | 167,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 29 | 2008 | 2009 | 25/03/2009 | ---   | 434       | 147,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 30 | 2009 | 2010 | 07/12/2009 | 17:00 | 406       | 131,30       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 31 | 2010 | 2011 | 21/03/2011 | ---   | 432       | 146,00       | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 32 | 2011 | 2012 | 07/01/2012 | 07:00 | 402       | 129,03       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 33 | 2012 | 2013 | 10/04/2013 | 17:00 | 412       | 134,71       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 34 | 2013 | 2014 | 27/03/2014 | 07:00 | 280       | 65,89        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 35 | 2014 | 2015 | 07/02/2015 | ---   | 274       | 63,11        | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 36 | 2015 | 2016 | 03/03/2016 | ---   | 320       | 85,25        | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 37 | 2016 | 2017 | 29/03/2017 | 07:00 | 406       | 131,29       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |

(Continuação)

| N  | AI   | AF   | Data       | Hora  | Cota (cm) | Vazão (m³/s) | Observações                                 |
|----|------|------|------------|-------|-----------|--------------|---------------------------------------------|
| 38 | 2017 | 2018 | 06/01/2018 | 07:00 | 316       | 83,25        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 39 | 2018 | 2019 | 03/12/2018 | 07:00 | 396       | 125,65       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 40 | 2019 | 2020 | 08/02/2020 | 17:00 | 438       | 149,80       | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 41 | 2020 | 2021 | 26/02/2021 | 17:00 | 248       | 51,48        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 42 | 2021 | 2022 | 10/01/2022 | 17:00 | 330       | 90,30        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 43 | 2022 | 2023 | 21/12/2022 | 17:00 | 308       | 79,29        | DL / Vazões geradas a partir da curva-chave |
| 44 | 2023 | 2024 | 21/02/2024 | ---   | 347       | 99,10        | CM / Vazões geradas a partir da curva-chave |

DL – Dupla Leitura (07 e 17 hs)

CM – Sem dados de boletim de Dupla Leitura (DL). Registro DL na estatística máxima do banco de Cotas Médias.

## Curva-Chave

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:

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

$Q(h)$  é a vazão calculada para a cota  $h$  (m³/s);

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

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo são os seguintes:

| Curva-Chave | Período                 | 12/08/1980<br>06/10/1991 | 07/10/1991<br>06/02/2015 | 07/02/2015<br>27/04/2017 | 28/04/2017<br>21/12/2022 | 22/12/2022<br>31/12/2025 |
|-------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1           | Amplitude de cotas (cm) | 50                       | 40                       | 40                       | 20                       | 0                        |
|             |                         | 92                       | 125                      | 43                       | 43                       | 40                       |
|             | $a$                     | 10,0781                  | 9,7145                   | 0,4917                   | 0,4917                   | 0,179                    |
|             | $h_0$ (m)               | 0,46                     | 0,37                     | -0,06                    | -0,06                    | -0,05                    |
|             | $n$                     | 1,521                    | 1,772                    | 2,5                      | 2,5                      | 2,784                    |
| 2           | Amplitude de cotas (cm) | 92                       | 125                      | 43                       | 43                       | 40                       |
|             |                         | 144                      | 555                      | 57                       | 57                       | 56                       |
|             | $a$                     | 12,4438                  | 25,3207                  | 3,345                    | 3,345                    | 3,842                    |
|             | $h_0$ (m)               | 0,55                     | 0,82                     | 0,33                     | 0,33                     | 0,31                     |
|             | $n$                     | 1,400                    | 1,4                      | 1,6                      | 1,6                      | 2,19                     |
| 3           | Amplitude de cotas (cm) | 144                      |                          | 57                       | 57                       | 56                       |
|             |                         | 550                      |                          | 117                      | 92                       | 113                      |
|             | $a$                     | 25,3207                  |                          | 8,867                    | 10,0781                  | 9,1468                   |
|             | $h_0$ (m)               | 0,9                      |                          | 0,29                     | 0,46                     | 0,51                     |
|             | $n$                     | 1,415                    |                          | 2,560                    | 1,521                    | 1,300                    |
| 4           | Amplitude de cotas (cm) |                          |                          | 117                      | 92                       | 113                      |
|             |                         |                          |                          | 123                      | 123                      | 576                      |
|             | $a$                     |                          |                          | 12,4438                  | 12,4438                  | 25,3207                  |
|             | $h_0$ (m)               |                          |                          | 0,55                     | 0,55                     | 0,82                     |
|             | $n$                     |                          |                          | 1,400                    | 1,400                    | 1,400                    |
| 5           | Amplitude de cotas (cm) |                          |                          | 123                      | 123                      |                          |
|             |                         |                          |                          | 550                      | 550                      |                          |
|             | $a$                     |                          |                          | 25,3207                  | 25,3207                  |                          |
|             | $h_0$ (m)               |                          |                          | 0,82                     | 0,82                     |                          |
|             | $n$                     |                          |                          | 1,400                    | 1,400                    |                          |

## Estatísticas da série

### Estatísticas da Série

| Média<br>m³/s | Desvio-<br>Padrão<br>m³/s | Máximo<br>m³/s | Mínimo<br>m³/s | Amplitude<br>m³/s | Assimetria | Mediana<br>m³/s | 1º<br>Quartil<br>m³/s | 3º<br>Quartil<br>m³/s | AIQ<br>m³/s |
|---------------|---------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| 121,7         | 40,4                      | 222            | 51,5           | 170,5             | 0,4        | 119,54          | 90,31                 | 146,46                | 56,15       |

### Estatísticas da série transformada: Ln(X)

| Média | Desvio-<br>Padrão | Máximo | Mínimo | Amplitude | Assimetria | Mediana | 1º<br>Quartil | 3º<br>Quartil | AIQ   |
|-------|-------------------|--------|--------|-----------|------------|---------|---------------|---------------|-------|
| 4,7   | 0,3               | 5,4    | 3,9    | 1,5       | -0,4       | 4,78    | 4,50          | 4,99          | 0,483 |

### Momentos-L e Razões-L

| $l_1$   | $l_2$  | L-CV  | L-SKEW | L-KURT |
|---------|--------|-------|--------|--------|
| 121,652 | 23,143 | 0,190 | 0,073  | 0,110  |

### Momentos-L e Razões-L da série transformada: Ln(X)

| $l_1$ | $l_2$ | L-CV   | L-SKEW | L-KURT |
|-------|-------|--------|--------|--------|
| 4,801 | 3,142 | -1,659 | -2,616 | -2,210 |

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos ( $\mu$  e  $\sigma$  são parâmetros da distribuição Log-Normal)

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

Inversa da distribuição Log-Normal:  $x(F)$  não possui forma analítica

Parâmetros da Distribuição Log-Normal

Fonte: Hosking e Wallis (1997), págs. 193 e 194

$$\text{Momentos - L: } \lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642 \quad \sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sigma \quad \text{Parâmetros: } \hat{\mu} = \lambda_1 \quad e \quad \hat{\sigma} = \lambda_2 \sqrt{\pi}$$

| Distribuição                 | Posição ( $\mu$ ) | Escala ( $\sigma$ ) |
|------------------------------|-------------------|---------------------|
| Log-Normal ( $\mu, \sigma$ ) | 4,744             | 0,354               |



## Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

### 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 Goiânia

Rua 148, 485 – Setor Marista  
Goiânia – GO –  
CEP: 74170-110  
Tel.: (62) 3240-1401 / (62) 3240-1402

#### 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