

# Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

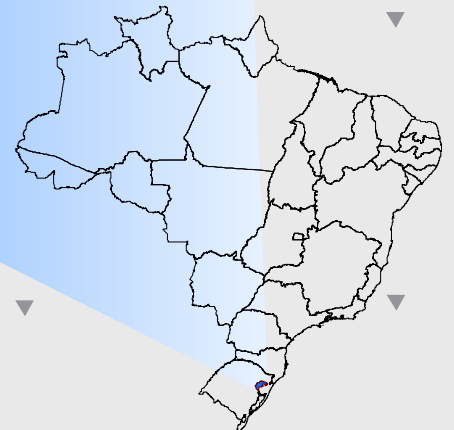
## Análise de Frequência de Cotas dos Sistemas de Alerta

### Sistema de Alerta: Bacia do Rio Caí

Rio Caí em Passo do Montenegro

Código: 87270000

Município Atendido: Montenegro - RS



2022

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB/CPRM**  
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

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 DOS SISTEMAS DE ALERTA**

**Sistema de Alerta: Bacia do Rio Caí**

**Rio: Caí**  
**Estação Fluviométrica: Passo Montenegro**  
**Código: 87270000**  
**Município Atendido: Montenegro/RS**

**Francisco Fernando Noronha Marcuzzo**  
**Eber José de Andrade Pinto**



**PORTO ALEGRE**

**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 DOS SISTEMAS DE ALERTA

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

Copyright @ 2022 CPRM - Superintendência Regional de Porto Alegre  
Rua Banco da Província, 105 - Bairro Santa Teresa  
Porto Alegre / RS – 90.840-030  
Telefone: 0(xx) (51) 3406-7300  
Fax: 0(xx) (51) 3233-7772  
<http://www.cprm.gov.br>

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M322 Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha  
Análise de frequência de cotas dos sistemas de alerta: Sistema de Alerta  
Bacia do Rio Cai; rio Cai, estação fluviométrica Passo Montenegro, código  
87270000, município atendido Montenegro, RS / Francisco Fernando Noronha  
Marcuzzo, Eber José de Andrade Pinto. – Porto Alegre: CPRM, 2022.  
1 recurso eletrônico: PDF

Programa Gestão de Risco de Desastres  
Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos  
Críticos  
Título da capa Projeto Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas  
Brasileiras  
ISBN 978-65-5664-273-4

1. Hidrologia – Brasil. 2. Regionalização de Vazões. 3. Análise de Frequência  
Local. I. Pinto, Eber José de Andrade. II. Título III. Título da capa:  
Projeto Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileira.

CDD 551.48

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Ana Lúcia Borges Fortes Coelho – CRB10 - 840

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

**SECRETÁRIO 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**

Cassiano de Souza Alves - Interino

**Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Márcio José Remédio

**Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Paulo Afonso Romano

**Diretor de Administração e Finanças**

Cassiano de Souza Alves

## **SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE**

*Alexandre Trevisan Chagas*  
**Superintendente**

*Franco Turco Buffon*  
**Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial**

*Carla Klein*  
**Gerente de Geologia e Recursos Minerais**

*Ana Cristina Bomfim Peixoto*  
**Gerente de Infraestrutura Geocientífica**

*Alexandre Trevisan Chagas*  
**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 memoriam*)

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

### **Equipe Executora**

Denise Christina de Rezende Melo – SUREG/GO  
Francisco F. N. Marcuzzo – SUREG/PA  
Múcio Valença Virões – SUREG/RE  
Myrla de Souza Batista Vieira – SEDE  
Paula Krsthina Cordeiro Freire – REFO

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

Ivete Souza do Nascimento – SUREG/BH

### **Equipe de Apoio Local – Cotas e Levantamentos de Seção Transversal**

Luciano Träsel – SUREG/PA  
Rejane Bao – SUREG/PA

## 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 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 cotas máximas observadas no rio Caí, especificamente na estação fluviométrica Passo Montenegro, código 87270000. Esta estação fluviométrica faz parte do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da bacia do rio Caí. Esta estação constitui um ponto de acompanhamento das cotas (medição de descarga líquida foi extinta em 2014) na área rural do município de Capela de Santana, na margem esquerda do rio Caí onde está instalada, e na cidade de Montenegro, na margem direita do rio, onde a ascensão do nível das cotas do rio Caí provoca cheias e inundações em sua área urbana, no Estado do Rio Grande do Sul.

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO .....	01
2 – METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL .....	17
3 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL.....	19
4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	21
5 – REFERÊNCIAS .....	27
ANEXO I .....	34
ANEXO II .....	41
ANEXO III .....	44
ANEXO IV .....	56
ANEXO V .....	60

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 – Localização das estações fluviométricas do SACE da bacia do rio Caí  
Figura 02 – Localização e fotos da seção de réguas da estação Passo Montenegro  
Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Passo Montenegro  
Figura 04 – Cotas máximas anuais registradas nos boletins dupla leitura, e as linhas representando as cotas de atenção, alerta e inundação  
Figura 05 – Cotas máximas anuais que atingiram as cotas de atenção, alerta e inundação em cada mês do ano, na estação Passo Montenegro  
Figura 06 – Ajuste das distribuições empírica e teórica

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 01 – Número e percentual de anos com cotas menores e maiores que a cota de atenção, e maiores que as cotas de alerta e inundação  
Tabela 02 – Número de cotas máximas anuais em cada mês e o número de vezes que essa cota máxima anual no mês atingiu a cota de atenção, alerta e inundação  
Tabela 03 – Cotas, em centímetros, para diferentes tempos de retorno, em anos

## ANEXOS

- Anexo I – Ficha Descritiva, Ficha Complementar e Croqui da Estação Fluviométrica  
Anexo II – Distribuições de Gumbel, Log-normal e Normal  
Anexo III – Diagrama Unifilar do Delta do Jacuí, Imagens de Satélite da Localização, Delimitação da Bacia e das Áreas de Drenagem das Estações, Imagens de Satélite da Transposição de Águas da Bacia do Rio Caí Para a Bacia do Rio Paranhana e Seu Diagrama Unifilar  
Anexo IV – Levantamentos de Seção Transversal – Seção de Réguas e Seção de Medição  
Anexo V – Série de Dados Utilizados e Estatística

## 1 – INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Caí, localizada na Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, possui área de 4.983 km<sup>2</sup> e população estimada de 656.577 habitantes (2020), sendo 566.903 habitantes em áreas urbanas e 89.673 habitantes em áreas rurais (RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, 2020). Já no estudo da hidro morfologia da sub-bacia 87, onde está inserida a bacia do rio Caí, publicado por Tschiedel, Pickbrenner e Marcuzzo (2012), obteve-se uma área de drenagem da bacia do rio Caí de 4.976 km<sup>2</sup>, perímetro de 528 km, coeficiente de compacidade de 2,11 e fator de forma de 0,07. Os mesmos autores relatam que o comprimento do rio Caí é de 262 km, com equivalente vetorial de 104 km, índice de sinuosidade de 60,3%, sendo descrito pelos autores como um rio “muito sinuoso” da sub-bacia 87. Neste trabalho, os autores identificaram, por meio de modelo digital de elevação, que a nascente do rio Caí está a aproximadamente 946 m acima do nível do mar, sendo que seu exutório, no delta do rio Jacuí (Anexo III), está a aproximadamente 1 m de altitude. A localização da nascente do rio Santa Cruz, que passará a ser chamado rio Caí mais a jusante, está no município de São Francisco de Paula nas coordenadas aproximadas de 50°24'36,01"O e 29°22'20,56"S, e em uma altitude aproximada de 935 m. O rio Santa Cruz passa a ser denominado rio Caí no oeste do município de São Francisco de Paula, a partir das coordenadas aproximadas de 50°45'19,82"O e 29°16'04,147"S, entre o arroio Cara, na margem direita, e o arroio Saiqui, na margem esquerda.

Conforme apresentado por PROFILL (2007), em relação aos municípios inseridos na área territorial da bacia, considerados aspectos geográficos e hidrográficos, a bacia Hidrográfica do rio Caí atinge total ou parcialmente 42 (quarenta e dois municípios), diferentemente do que se analisou neste estudo, que foram 41 municípios. A diferença do publicado por PROFILL (2007) e o verificado neste estudo, está no município de Poço das Antas, que para PROFILL (2007) possui 0,7% do seu território na bacia do rio Caí e, para este estudo, não se encontrou área deste município dentro do divisor de águas da bacia. Uma peculiaridade da bacia é de que algumas sedes municipais (áreas urbanas) estão localizadas no divisor de águas, conforme pode ser visto no Anexo III.

A bacia hidrográfica do rio Caí abrange ao todo 41 municípios, sendo 18 (44%) municípios com a área territorial totalmente inserida na bacia e 23 (56%) municípios com a área territorial parcialmente inserida na bacia. Os municípios que possuem sua área territorial totalmente inserida na delimitação da área de drenagem da bacia do rio Caí são, por ordem de área territorial: Nova Petrópolis (292,5 km<sup>2</sup>), Santa Maria do Herval (138,5 km<sup>2</sup>), Feliz (95,8 km<sup>2</sup>), Bom Princípio (88,3 km<sup>2</sup>), Morro Reuter (87,8 km<sup>2</sup>), Picada Café (85,2 km<sup>2</sup>), Maratá (80,8 km<sup>2</sup>), Alto Feliz (79,1 km<sup>2</sup>), Linha Nova (63,7 km<sup>2</sup>), São José do Hortêncio (63,1 km<sup>2</sup>), Tupandi (59,1 km<sup>2</sup>), Pareci Novo (56,8 km<sup>2</sup>), São José do Sul (55,4 km<sup>2</sup>), Presidente Lucena (49,4 km<sup>2</sup>), Harmonia (48,6 km<sup>2</sup>), Vale Real (44,6 km<sup>2</sup>), Lindolfo Collor (33,6 km<sup>2</sup>) e São Vendelino (32,3 km<sup>2</sup>).

Já os municípios que possuem parte da sua área territorial inserida na bacia do rio Caí são, por ordem decrescente percentual de território inserido na bacia: Capela de Santana (184,4 km<sup>2</sup> de área total municipal, 182,0 km<sup>2</sup> de área inseridos na bacia, resultando em 99% do seu território na bacia), São Sebastião do Caí (111,6 km<sup>2</sup>, 109,0



km<sup>2</sup>, 98%), Ivoti (63,4 km<sup>2</sup>, 59,7 km<sup>2</sup>, 94%), Dois Irmãos (65,2 km<sup>2</sup>, 60,4 km<sup>2</sup>, 93%), Montenegro (419,3 km<sup>2</sup>, 368,0 km<sup>2</sup>, 88%), Brochier (109,3 km<sup>2</sup>, 76,3 km<sup>2</sup>, 70%), Gramado (236,8 km<sup>2</sup>, 163,2 km<sup>2</sup>, 69%), São Pedro da Serra (35,1 km<sup>2</sup>, 23,0 km<sup>2</sup>, 66%), Salvador do Sul (100,2 km<sup>2</sup>, 65,6 km<sup>2</sup>, 65%), Barão (124,5 km<sup>2</sup>, 70,1 km<sup>2</sup>, 56%), Nova Santa Rita (217,1 km<sup>2</sup>, 119,7 km<sup>2</sup>, 55%), Caxias do Sul (1.643,7 km<sup>2</sup>, 778,4 km<sup>2</sup>, 47%), Carlos Barbosa (229,6 km<sup>2</sup>, 107,1 km<sup>2</sup>, 47%), Canela (255,0 km<sup>2</sup>, 105,7 km<sup>2</sup>, 41%), Sapiranga (137,2 km<sup>2</sup>, 54,4 km<sup>2</sup>, 40%), Farroupilha (361,9 km<sup>2</sup>, 141,7 km<sup>2</sup>, 39%), São Francisco de Paula (3.272,2 km<sup>2</sup>, 937,1 km<sup>2</sup>, 29%) Portão (160,2 km<sup>2</sup>, 22,9 km<sup>2</sup>, 14%), Igrejinha (136,7 km<sup>2</sup>, 10,0 km<sup>2</sup>, 7%), Triunfo (822,7 km<sup>2</sup>, 58,6 km<sup>2</sup>, 7%), Estância Velha (51,9 km<sup>2</sup>, 3,0 km<sup>2</sup>, 6%), Três Coroas (185,9 km<sup>2</sup>, 9,1 km<sup>2</sup>, 5%) e Nova Hartz (62,5 km<sup>2</sup>, 1,9 km<sup>2</sup>, 3%).

O município com maior área territorial na bacia do rio Caí é São Francisco de Paula, que possui uma área territorial total de 3.272,2 km<sup>2</sup> e uma área territorial inserida na bacia de 937,1 km<sup>2</sup>, ou seja, 29% de sua área total é suficiente para ser a maior área territorial municipal na bacia do rio Caí. Já Nova Hartz, que possui 62,5 km<sup>2</sup> de área total, possui 1,9 km<sup>2</sup> de território na bacia do rio Caí, ou seja, equivalente a apenas 3% do seu território total está inserido na área de drenagem da bacia do rio Caí, resultando na menor área territorial municipal da bacia.

A bacia hidrográfica do rio Caí, localizada na Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, possui população estimada de 656.577 habitantes em 2020, dos quais 566.903 habitantes em áreas urbanas e 89.673 habitantes em áreas rurais (IBGE, 2022).

Os dois municípios atendidos com previsão de cotas pelo Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, <https://www.cprm.gov.br/sace/>) na bacia do rio Caí, em junho de 2022, são: São Sebastião do Caí, com população estimada em 2021 de 26.161 pessoas (população no último censo de 2010 apresentava 21.932 pessoas, resultando em uma densidade demográfica (2010) de 196,81 hab.(km<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>), e Montenegro, com população estimada em 2021 de 66.157 pessoas (população no último censo de 2010 apresentava 59.415 pessoas, resultando em uma densidade demográfica (2010) de 140,13 hab.km<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>) (IBGE, 2010, 2022).

Conforme portaria nº 447 do MME, de 20/12/1976, a bacia do rio Caí está localizada na bacia de número 8, Bacia Hidrográfica do Atlântico – Trecho Sudeste, que é subdividida em 10 grandes sub-bacias, da 80 a 89, sendo a bacia do rio Caí inserida na de número 87. E como instituído pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) na Resolução 32/2003, a bacia do rio Caí faz parte da região hidrográfica de número 12, denominada Região Hidrográfica do Atlântico Sul. A bacia hidrográfica do rio Caí limita-se a oeste e norte com a bacia Taquari-Antas, ao sul com a bacia Baixo Jacuí e a oeste com a bacia do Sinos. O Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí - G 030 foi criado pelo Decreto nº 38.903 de 28/09/1998, alterado pelo Decreto nº 43.349 de 17/09/2004 e pelo Decreto 54.291 de 19/10/2018.

A bacia do Caí caracteriza-se por apresentar um curso de água principal, que dá origem ao nome da bacia, rio Caí, e alguns afluentes de maior porte, como, por exemplo, das partes altas para as partes baixas: Arroio Piaí, Arroio Forromeco, Arroio Cadeia e Arroio Maratá (PROFILL, 2007). Segundo a mesma fonte, a bacia do rio Caí apresenta como característica marcante a possibilidade da divisão do rio em três trechos: trechos alto, médio e baixo. Verifica-se no trecho alto, que se estende até a foz do Arroio Caracol,

se caracteriza por apresentar cotas elevadas, relevo plano e pela presença das barragens do Santo, Blang e Divisa. Observa-se no trecho médio, que vai do Arroio Caracol até o município de São Sebastião do Caí, encontra-se a porção mais urbanizada e industrializada da bacia, resultando em fortes pressões sobre o ambiente, o relevo se torna mais acidentado apresentando encostas de grande declividade. Já o trecho baixo, do município de São Sebastião do Caí até a sua foz no delta do rio Jacuí (Anexo III), que apresenta relevo plano e cotas baixas, é marcado pela ocorrência de inundações nas áreas urbanas dos municípios de Montenegro e São Sebastião do Caí e pela interferência que o nível do rio Jacuí exerce na parte baixa do rio Caí. O delta do rio Jacuí pode ser visto em detalhe na primeira e segunda imagens do Anexo III e, em maiores detalhes de informações, na parte 4 de 16 do diagrama unifilar da sub-bacia 87 publicado por Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017). A transposição das águas do rio Santa Cruz, na bacia do rio Caí, para o rio Paranhana, na bacia do rio dos Sinos, pode ser visto em detalhe nas três últimas imagens do Anexo III e na parte 12 de 16 do diagrama unifilar da sub-bacia 87 publicado por Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017). Um melhor detalhamento sobre a interligação das águas do rio Santa Cruz, na bacia hidrográfica do rio Caí, com as águas do rio Paranhana, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, pode ser observado no trabalho sobre o tempo de retorno de cotas da estação Nova Palmira (87160000), publicado por Marcuzzo e Pinto (2022a). Detalhamentos hidrológicos da bacia 8, sub-bacia 87 e a sua sub-bacia do rio Caí, como a interação hidro geológica com água superficial, hidrogeologia básica, cálculos de subáreas, drenagens de estações e diagramas unifilares, podem ser analisados em Tschiedel, Pickbrenner, Marcuzzo (2012), Schröder (2013), Simon, Pickbrenner e Marcuzzo (2013), Marcuzzo e Melati (2015), Melati e Marcuzzo (2015), Marcuzzo e Melati (2015), Marcuzzo e Simon (2016), Guimarães, Almeida e Marcuzzo (2017), Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017), Finck *et al.* (2017), Marcuzzo e Melati (2017).

Nos dados de distribuição espacial de precipitação média mensal da sub-bacia 87, estudados por Marcuzzo e Melati (2015a,b, 2017a, 2017b), onde se insere a bacia do rio Caí, utilizando os dados de Pinto *et al.* (2011), é possível visualizar que a sub-bacia 87, possui uma precipitação média anual de 1.530 mm, sendo o mês menos úmido março, com média de 111 mm e o mês mais úmido julho, com 149 mm. Um evento extremo de chuva, bem registrado, foi o de 2016, relatado no trabalho de Pickbrenner *et al.* (2017), sobre a cheia na bacia do rio Caí (10/2016), quando uma chuva intensa, ocorrida entre 15 e 22 de outubro de 2016, abrangeu a bacia do rio Caí. Os autores relatam que, em apenas quatro dias, os acumulados de chuva atingiram quase 300mm e inundações severas ocorreram em São Sebastião do Caí/RS e Montenegro/RS.

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM, possui em seu Repositório Institucional em Geociências (RIGEO - <http://rigeo.cprm.gov.br/>) relatórios com a delimitação das áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa dos municípios que o Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, 2020; TUTORIAL, 2020) emite previsão de cotas e de localidades de apoio na bacia do rio Caí: Caxias do Sul (CPRM, 2017), Montenegro (HOELZEL, M.; LAMBERTY, 2016), São Sebastião do Caí (PEIXOTO; LAMBERTY, 2019). Além de equações de intensidade-duração-frequência

de chuva em municípios da bacia, como a do município de São Sebastião Caí, publicado por Weschenfelder, Pickbrenner e Pinto (2017).

Segundo Pedrollo *et al.* (2011), na publicação sobre a implementação do Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) da bacia do rio Caí, um sistema de previsão e alerta tem a finalidade principal de antecipação da ocorrência da inundação, permitindo o aviso à população e às autoridades, para que sejam tomadas as medidas necessárias, de maneira a reduzir os prejuízos resultantes da inundação. Além disso, os autores citam que o simples acompanhamento em tempo atual da evolução dos cenários hidrológicos pode ser muito importante, para a tomada de decisões em situações de emergência, principalmente pelo alcance social e pela amplitude da área afetada por estas decisões.

As cheias na bacia do rio Caí são fenômenos naturais que fazem parte da dinâmica fluvial natural de uma bacia hidrográfica com vastas planícies de inundações. Segundo Silva e Buffon (2020), os SAHs são capazes de subsidiar a tomada de decisão de agentes públicos e pessoas, diante de cenários hidrológicos críticos, por meio da geração e disseminação de previsões hidrológicas. Os autores também relatam que o Serviço Geológico do Brasil – CPRM deu início, em 2009, aos estudos de concepção do Sistema de Alerta Hidrológico do Rio Caí (SAH-Caí), tendo emitido o seu primeiro boletim de alerta em 2012. Também relatam que o projeto, em 2020, atendia a uma população de aproximadamente 90.000 pessoas, concentradas predominantemente nos municípios de São Sebastião do Caí/RS e Montenegro/RS.

Na dissertação de mestrado de Silva (2019), sobre previsão hidro econômica de curto prazo com modelo de redes neurais artificiais aplicado à bacia do rio Caí, o autor publica mapas com as áreas de inundação para diferentes cotas e tempos de retorno nos municípios de Montenegro e São Sebastião do Caí. Rezende *et al.* (2016), determinaram as altitudes ortométricas de todos os referenciais de níveis das estações fluviométricas integrantes da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), anteriormente arbitrados, e que são operadas pela Superintendência Regional de Porto Alegre - SUREG-PA para os SAHs. Os autores relatam que a leitura precisa do nível d'água, em tempo real, e correspondente modelagem, possibilita a previsão com dez horas de antecedência das áreas que serão inundadas em municípios da bacia do rio Caí, por exemplo. No contexto do SAH da bacia do Caí, os autores citam que foram elaborados mapas de inundação para os municípios de São Sebastião do Caí e Montenegro a partir da compatibilização dos níveis aferidos por sua seção de réguas e o Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pela Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN).

Segundo Oliveira, Guasselli e Saldanha (2012), a distância entre os postos fluviométricos Barca do Caí e Passo do Montenegro é de 20,2 km, com desnível de sete metros, indicando uma baixa declividade de 0,035%. Segundo os autores, neste trecho do rio Caí, a largura média do canal é de 50 metros e da planície de inundação é de 2,5 km, e, entre os dois postos existe um grande aporte lateral de água (bacia complementar), com área de 1.345 km<sup>2</sup>, cujas principais drenagens são o rio Cadeia e o arroio Maratá. Também relatam que a área de drenagem da bacia de contribuição ao posto Barca do Caí é de 2.991,8 km<sup>2</sup>, enquanto que a bacia referente ao posto Passo do Montenegro possui 4.337 km<sup>2</sup>. No trecho do rio Caí que corta a cidade de Montenegro,

os autores relatam que a largura média do rio é um pouco maior, variando entre 55 e 75 metros, com largura da planície de inundação variando entre 3 e 3,5 km.

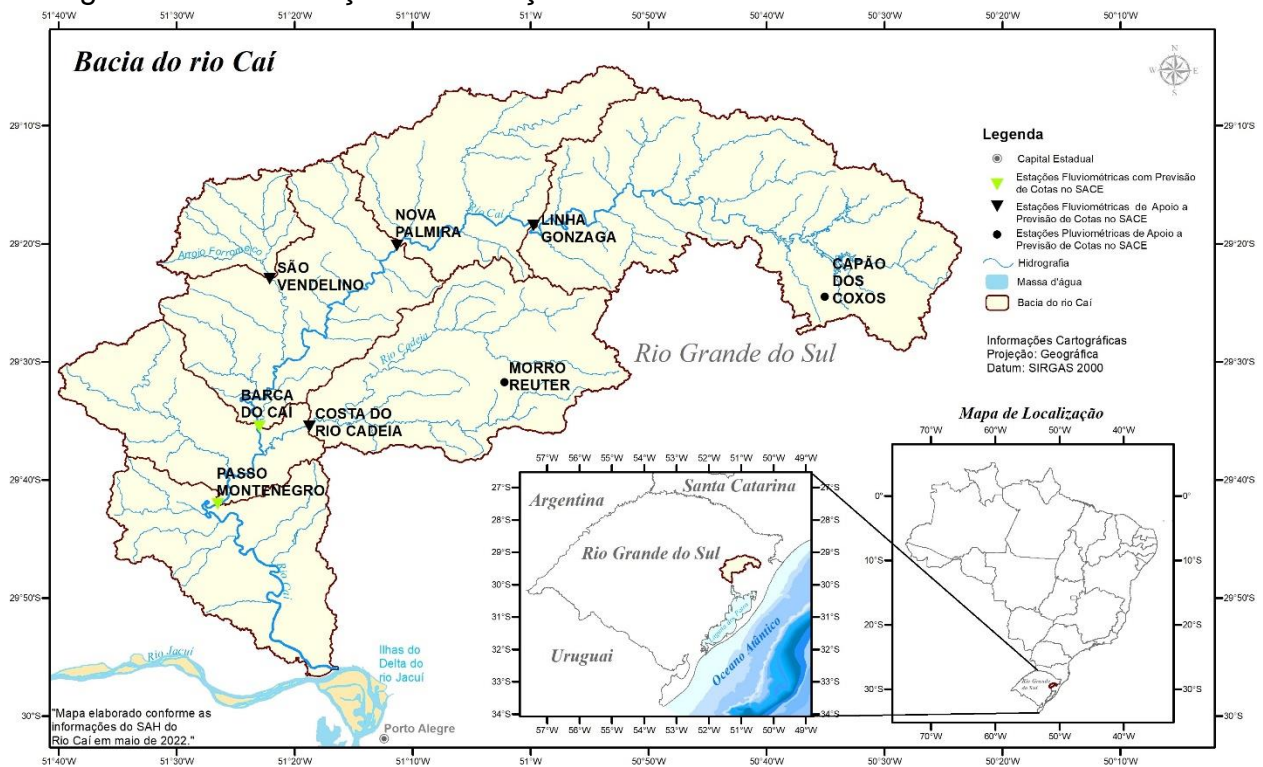
Considerando os dados do inventário da ANA (2022), a área de drenagem da estação Barca do Caí (87170000) é de 3.030 km<sup>2</sup> e da estação Passo Montenegro (87270000) é de 4.360 km<sup>2</sup>, o que resulta em uma bacia complementar (aporte lateral de água entre as estações na calha principal da bacia do rio Caí), de 1.330 km<sup>2</sup>.

Já considerando os dados de Guimarães *et al.* (2017), a área de drenagem da estação Barca do Caí (87170000) é de 3.024,1 km<sup>2</sup> e da estação Passo Montenegro (87270000) é de 4.368,2 km<sup>2</sup>, o que resulta em uma bacia complementar (aporte lateral de água entre as estações na calha principal da bacia do rio Caí), de 1.344,1 km<sup>2</sup>.

Conforme o inventário de estações fluviométricas e pluviométricas da Agência Nacional de Águas de 06/05/2022 (ANA, 2022), o rio Caí, em seu talvegue, conta com dados de 20 estações fluviométricas, sendo que apenas 13 estão em operação, das quais apenas cinco são de responsabilidade do Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre/RS.

A localização das seis estações fluviométricas, das quais duas emitem boletim de previsão de cotas e quatro são de apoio à previsão, e das duas pluviométricas que também são de apoio a previsão de cotas, que compõem o Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Caí, em julho de 2022, está apresentada na Figura 01. Mapas altimétricos, de precipitação média anual, mostrando as localizações das estações do SACE do rio Caí, inclusive mostrando o local de transposição das águas da bacia do rio Caí para a bacia do rio dos Sinos, entre outros, da bacia hidrográfica do rio Caí (Anexo III), entre outras informações, podem ser baixados clicando [AQUI \(PDF\)](#) e [AQUI \(PNG\)](#).

Figura 01 – Localização das estações fluviométricas do SACE da bacia do rio Caí



Fonte: Elaborada pela DHT/SUREG-BH.

Nota-se na Figura 01 que, até a data de elaboração deste texto, das seis estações fluviométricas, duas possuem previsão de cotas de atenção, alerta e inundação no SACE (<https://www.cprm.gov.br/sace/>) e quatro são estações de apoio para o modelo de previsão de cotas.

A estação Passo Montenegro, código 87270000 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2022), está localizada na Latitude 29°42'04"S e Longitude 51°26'28"O, na altitude de -0,85 m no rio Caí e possui uma área de drenagem de 4.360 km<sup>2</sup>, segundo o inventário da ANA de maio de 2022, resultando em 87,62% da área total da bacia do rio Caí, que segundo a publicação de Tschiedel, Pickbrenner e Marcuzzo (2012), é de 4.976 km<sup>2</sup>. Segundo Guimarães *et al.* (2017) a área de drenagem da estação 87270000 é de 4.368,2 km<sup>2</sup>.

A estação fluviométrica Passo Montenegro situa-se na margem esquerda do rio Caí, a jusante da estação Nova Palmira (87160000) e Barca do Caí (87170000) segundo os diagramas unifilares publicados por Guimarães *et al.* (2017). Observa-se que a estação Passo Montenegro (87270000), na data da elaboração deste texto, só possuía leitura de réguas, tendo sua medição de descarga líquida extinta no ano de 2014. Dentro da rede hidrometeorológica nacional de referência, o objetivo principal desta estação é o monitoramento de eventos hidrológicos críticos.

Nesta estação, segundo o inventário da ANA (2022), desde agosto de 2014, estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do rio Caí (telemetria). O controle desta estação é do tipo canal, para todo o intervalo de cotas. A estação possui monitoramento automático com amostragem a cada 15 minutos e transmissão via satélite a cada 1 hora.

Operada pela unidade do Serviço Geológico do Brasil de Porto Alegre, a estação automática está a cerca de 20m a jusante da seção de réguas de Passo Montenegro (87270000). A estação automática está alocada na área da propriedade do observador da estação fluviométrica.

Segundo as informações do Anexo I, a estação fica localizada saindo de Montenegro no sentido da cidade de Portão, pela estrada RS-240. Percorre 2,5 km, virar à direita pela estrada de terra e percorre mais 14 km, virar à direita, e mais 5,3 km até a estação.

A estação fluviométrica, no momento da redação deste texto, possui nove lances de réguas, sendo oito entre o rio e a estrada e o último lance após a estrada, próximo à casa do observador.

O pluviômetro convencional está localizado atrás da casa do observador. A estação automática está junto ao pluviômetro convencional, dentro do cercado. A Plataforma de Coleta de Dados (PCD) está alocada em um poste metálico de 1,5 m de altura, não sendo necessária escada para acesso.

A Figura 02 ilustra a localização, mostrando o município em que está instalada, Capela de Santana, e o município que a previsão de cotas do SACE da bacia do rio Caí atende, Montenegro, além de fotos nas proximidades da seção de réguas da estação de Passo Montenegro (87270000).

O sensor de nível é do tipo pressão e está instalado junto à seção de réguas.

Figura 02 – Localização e fotos da seção de réguas da estação Passo Montenegro

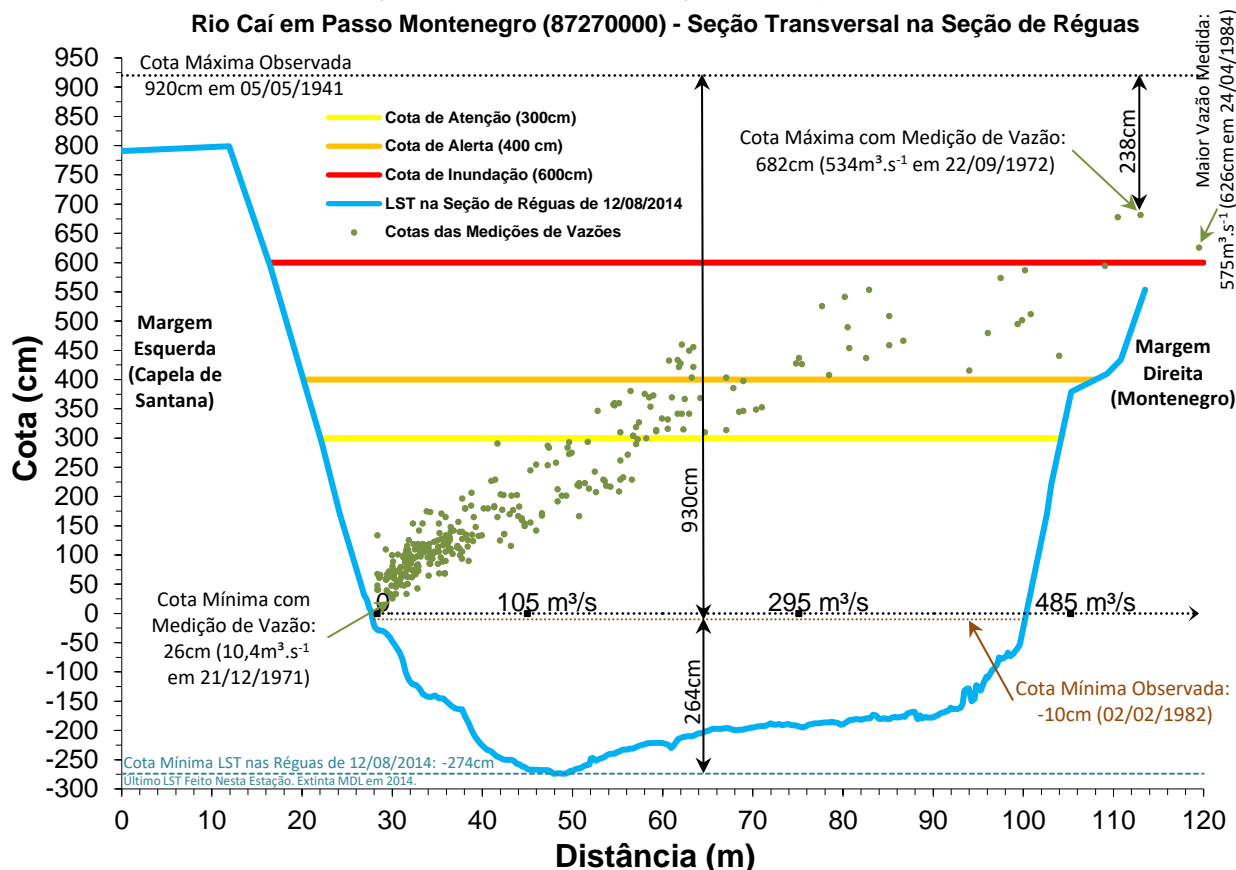


Fonte: a) Elaborada pela DHT/SUREG-BH; b) e c) Elaborada pelos autores a partir do Google Earth, d), e) e f) Fotos da GEHTE-SUREG-PA, SGB.

A Figura 03 apresenta o Levantamento da Seção Transversal (LST) na seção de réguas da estação executado em 12/08/2014, o mais recente disponível no banco de dados corporativo do SGB de Porto Alegre, em junho de 2022, com diferença entre o Ponto Inicial (PI) e Ponto Final (PF) de 113,5 m.

A Figura 03 também apresenta graficamente as cotas de atenção (300 cm), alerta (400 cm) e inundação (600 cm) para a cidade de Montenegro/RS, bem como, a maior e menor cota observada e a maior e a menor cota com Medição de Descarga Líquida (MDL), só não o  $h_0$  estimado pela curva-chave pois a MDL foi extinta nesta estação em 12/2014. A maior cota observada/registrada em Passo Montenegro (87270000) foi 920 cm, em 05/05/1941.

Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Passo Montenegro  
Rio Caí em Passo Montenegro (87270000) - Seção Transversal na Seção de Réguas



Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Medição de Descarga Líquida (MDL) na cota 682 cm, em 22/09/1972 (Figura 03), que foi a maior cota com MDL registrada até a data desta publicação, obteve-se 534  $m^3.s^{-1}$  no rio Caí, na localidade da estação de Passo Montenegro. Contudo, a maior vazão medida, que foi 575  $m^3.s^{-1}$ , foi medida na cota 626 cm, ou seja, em uma cota 56 cm abaixo da maior medida e, mesmo assim, mediu-se uma vazão com 41  $m^3.s^{-1}$  maior que a vazão medida na cota 682 cm. Já a menor cota observada foi de -10 cm, em 02/02/1982, e a menor cota com medição de descarga líquida foi de 26 cm, em 21/12/1971, quando se obteve vazão de 10,4  $m^3.s^{-1}$  no rio Caí, na localidade da estação Passo Montenegro. Em 13/12/2011, na cota 68 cm, em 19/03/2012, na cota 41 cm, em 07/12/2012, na cota 48 cm, e em 26/07/2013, na cota 134 cm, há registros de vazão igual a zero. Ressalta-se que, os dados e as informações transcritas neste parágrafo, acima, foram obtidos no banco de dados brutos até julho de 2022, ou seja, a partir desta data os valores de cotas de atenção, alerta, inundação, bem como as maiores e menores cotas observadas e com medição de vazão poderão sofrer alterações na estação Passo Montenegro (87270000).

A inundação de 05/05/1941, com 9,20 m (Figuras 03 e 04, e Anexo IV), foi a única vez em que a cota de 9 m foi atingida e ultrapassada pelas águas do rio Caí na estação Passo Montenegro. A segunda maior cheia histórica ocorreu em 25/09/2007, quando o nível do rio Caí em Passo Montenegro atingiu 8,70 m, ou seja, 0,50 m abaixo da maior inundação histórica registrada.

O LST da Figura 03, de 12/08/2014, possui a profundidade de -274 cm. Nota-se no gráfico da Figura 03, cuja menor cota do LST é de -274 cm, que há uma área molhada considerável abaixo da menor cota observada (-10 cm), que resulta em uma diferença de altura é de 2,64 m. Na profundidade de -200 cm, -100 cm e zero, a área molhada deste LST é respectivamente 10,66 m<sup>2</sup>, 65,00 m<sup>2</sup> e 134,03 m<sup>2</sup>. Na cota mínima histórica observada (-10 cm), na cota mínima medida (26 cm), na cota de atenção (300 cm) e na cota de alerta (400 cm) (na cota de inundação (600 cm), na maior cota com MDL (682 cm) e na maior cota observada (920 cm) não é possível se estimar a área molhada pois o LST não chega até essas cotas em uma ou nas duas margens) a área molhada do LST de 12/08/2014 de Passo Montenegro (87270000) é respectivamente: 126,85 m<sup>2</sup>, 152,81 m<sup>2</sup>, 366,59 m<sup>2</sup>, 450,81 m<sup>2</sup>. Ressalta-se que o impeditivo do cálculo das áreas molhadas associadas as cotas altas neste LST (Figura 03) é que na margem direita sua cota não alcança a maior cota com vazão histórica medida (682 cm) e a maior cota histórica observada (920 cm) da estação Passo Montenegro (87270000). Verifica-se no Anexo IV, LSTs antigos na seção de medição, cuja localização não foi encontrada, levantamentos que chegaram e ultrapassaram a maior cota observada (920 cm).

Considerando a área molhada de 594,18 m<sup>2</sup> na cota 554 cm, que é a maior cota atingida na margem direita do rio Caí pelo levantamento de 12/08/2014, da Figura 03, como 100%, no LST da Figura 03, ainda há 21,35% de área molhada abaixo da menor observada (-10 cm com 126,85 m<sup>2</sup> de área molhada). A título de comparação, em um caso extremo de área molhada abaixo do  $h_0$ , na estação de Itaqui (75900000) na bacia hidrográfica do rio Uruguai, foi calculado aproximadamente 52% de área molhada abaixo do  $h_0$  estimado pela curva-chave (MARCUSO; PINTO, 2021). Com as informações disponíveis no momento, descritas acima, para o LST do rio Caí em 12/08/2014, verifica-se que abaixo da menor cota observada, há um considerável volume de água disponível na calha natural do curso d'água do rio Caí, que, a grosso modo, caso a menor cota observada coincida com o  $h_0$ , não compõe a vazão medida e/ou estimada que passa acima desta cota, funcionando como uma espécie de "reservatório" de aproximadamente 126,85 m<sup>2</sup> de área molhada. Ressalta-se, como descrito anteriormente, que acima da cota -10 cm já se registrou vazão igual a zero nesta estação. Em um estudo que utilizou os Levantamentos de Seção Transversal das estações do SACE Uruguai, do Serviço Geológico do Brasil, Buffon, Rolim e Marcuzzo (2019) concluíram que a utilização de dados observados em estações fluviométricas, especificamente referente aos parâmetros hidráulicos da largura do rio Uruguai e sua profundidade média, podem afetar significativamente os resultados da modelagem de previsão de vazão na bacia, apresentando efeitos maiores em seus rios de baixa declividade em regiões com grandes planícies de inundação, e efeitos menores em rios de maior declividade em regiões montanhosas.

Ao longo do histórico da estação, disponível em seu inventário, não se encontrou informação que tenha ocorrido mudança da cota do zero da régua, ou seja, não foram acrescidos 100 cm ou outro qualquer valor as cotas da estação. Adverte-se que a cota de inundação, de 600 cm, se refere ao início do alagamento na cidade de Montenegro/RS, a qual está a margem direita do rio Caí e a estação Passo Montenegro (87270000), propriamente dita, está na margem esquerda, na área rural do território do



município de Capela de Santana/RS, cuja cidade está longe das margens do rio Caí. Maiores detalhes sobre a estação e sua localização podem ser encontrados na sua ficha descritiva que consta do Anexo I.

Na Figura 03 observa-se a diferença entre a máxima cota com vazão medida ( $534 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na cota 682 cm) e a máxima cota observada (920 cm), na seção de réguas, é de 238 cm. Já a diferença entre a maior cota observada (920 cm) e a menor cota observada (-10 cm) é de 930 cm. A razão entre as cotas máximas relatadas acima, ou seja, a maior cota observada (920 cm) com a maior cota que possui medição de vazão (682 cm) é de 1,35 (920 cm/682 cm). Segundo Tucci (2002) as melhores curvas-chave, aquelas com menor extrapolação do ramo superior, possuem a razão entre as cotas máximas observadas e com medição de vazão inferior a 1,25.

Mesmo não tendo mais MDL desde 12/2014 na estação, ressalta-se que as particularidades mencionadas nos parágrafos anteriores, atrelada ao fato que na margem direita do LST (Figura 03), até junho de 2022, não se tinha LST até a maior cota observada, são fatos que dificultam o traçado e ajuste do tramo superior (extrapolação) da curva-chave (O QUE é curva chave?, 2019) da estação de Passo Montenegro e diminuem a confiabilidade na estimativa das vazões em cotas altas para a localidade, além da influência do nível do rio Jacuí, em seu Delta (Anexo III), que é o exutório do rio Caí. Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017), mostram no diagrama unifilar da sub-bacia 87, mais precisamente na parte 8 de 16 que trata da sub-bacia do rio Caí, que a estação Passo Montenegro (87270000) dista 43,3 km do exutório do rio Caí no Delta do Rio Jacuí, com pouca declividade (zero da régua da estação -0,85m) entre a estação e o encontro das águas do rio Caí e do rio Jacuí. Os mesmos autores relatam que a outra estação que emite boletim de previsão de cotas, localizada no rio Caí, Barca do Caí (87170000) dista 59,9 km do exutório do rio Caí no Delta do Rio Jacuí, com pouca declividade (zero da régua da estação -0,76 m) até o exutório do rio Caí. Entretanto, é necessário mencionar que as medições de vazões em cotas altas envolvem mais riscos à segurança dos hidrotécnicos de campo, o que, em algumas situações, podem inviabilizar a realização do trabalho e, além disso, a frequência de ocorrência de grandes cheias para se conseguir tais medições pode ser baixa. Recomenda-se na estação Passo Montenegro, caso se opte por retornar com as MDL para se traçar uma nova curva-chave, pelo fato de se verificar dispersão de vazão medida, não só em cotas baixas, mas também em cotas intermediárias e altas na série histórica, conforme relatado no trabalho de Marcuzzo, Maldonado e Souza (2019), além da necessidade de mais medições em cotas altas, há também a necessidade de mais medições quando o rio Caí está em ascensão do seu nível, de modo a se excluir ou confirmar o fenômeno físico da histerese na localidade. O caso específico do fenômeno físico da histerese, que resulta em curva-chave em “laço”, descrito por esses autores, pode ser primariamente percebido com a elevada dispersão dos dados de vazão em cotas médias e altas, como mostrado na Figura 03, além do fato de que a maior vazão medida está o que pode ser um forte indicativo que este fenômeno está ocorrendo na localidade. Nota-se, por exemplo, que a maior vazão medida na estação, de  $575 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , na cota de 626 cm, ocorreu sob processo de ascensão das cotas do rio Caí (572 cm as 7h e 625 cm as 17h, em 24/04/1984) e que a maior cota medida, de 682 cm com  $534 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ocorreu com sob

processo de descenso das cotas do rio Caí (702 cm as 07h e 678 cm as 17h, em 22/09/1972). Esta descrição acima, resulta em vazão 7,13% maior em uma cota 56 cm menor que a vazão medida na maior cota com MDL registrada. Esta diferença, mesmo não sendo muito superior a uma incerteza embutida na MDL, que pode ser considerada de até 5%, pode ser um indicativo de histerese. Estas observações pontuais, do comportamento das vazões em Passo Montenegro, nas MDL em suas cotas altas, são indicativos consideráveis, mas não determinantes que nesta estação fluviométrica ocorre o fenômeno físico da histerese. Ressalta-se que, para se determinar a existência ou não do fenômeno da histerese na estação Passo Montenegro (87270000), caso em oportunidade futura se volte a ter MDL na estação, seria necessário um estudo específico, com MDL frequente durante todo um ciclo de uma cheia, ou seja, durante todo o processo de ascensão e descenso do nível do rio Caí em cotas altas. Para a localidade de Itaquí (75900000), Marcuzzo, Maldonado e Souza (2019) estudam e dissertam com mais detalhes esse fenômeno físico da histerese no traçado e ajuste de curva-chave. Marcuzzo e Pinto (2021) também discorrem sobre o fenômeno da histerese em um estudo de análise de frequência de cotas de estação fluviométrica.

Na Figura 04 e no Anexo V observa-se que a série de cotas máximas Dupla Leitura (DL) por ano hidrológico, que no caso desta estação fluviométrica foi considerado o mesmo período que o ano civil, devido à dificuldade de se estabelecer um início e fim do ano hidrológico, conforme se verifica nos resultados de Simon, Pickbrenner, Marcuzzo (2013) e Marcuzzo e Melati (2015, 2017), apresenta 73 valores registrados (Tabela 01), sendo 70 válidos dentro dos limites estatísticos de Grubbs e Beck (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 287). Parte dos dados da Figura 04 e no Anexo V foram recuperados por meio do trabalho projetado e executado por Naitzel, Goldenfum e Marcuzzo (2020).

Observa-se na Figura 04, em 01/01/1962 obteve-se a menor cota das máximas anuais da dupla leitura estudada, que foi de 392 cm. Essa cota foi descartada como limite inferior pelo teste de Grubbs e Beck, que será descrito no item 2 deste estudo, sobre a metodologia utilizada para a análise de frequência local. O ano de 2004, em 18/10/2004, obteve-se o valor de 436 cm, que foi o segundo valor descartado como limite inferior pelo teste de Grubbs e Beck. No ano de 1952 obteve-se a cota de 476 cm, em 29/06/1952, essa cota foi a terceira e última descartada como limite inferior pelo teste de Grubbs e Beck, ou seja, dos 73 dados iniciais de cotas máximas anuais da dupla leitura, sobrou 70 anos para o estudo. Resumindo, totalizou-se 73 anos de dados incompletos DL de 12/1939 a 12/2021. Entretanto, devido ao teste de limites inferiores de Grubbs e Beck, deletou-se os anos de 1962 (392 cm), 2004 (436 cm) e 1952 (476 cm), cujos limites inferiores do teste de Grubbs e Beck, eram respectivamente com esses dados: 438 cm, 461 cm e 480 cm. Após excluir estes três dados o limite inferior do teste de Grubbs e Beck ficou em 496,18 cm, abaixo da menor máxima anual considerável, que foi de 526 cm em 07/11/1968.

Conforme se observa na Tabela 01 e na Figura 04, destes 73 valores registrados de cotas máximas Dupla Leitura (DL), em nenhum ano, ou seja, zero por cento em relação ao total de observações, possuem cotas máximas anuais menores que a cota de atenção (300 cm) e, apenas uma abaixo da cota de alerta (400 cm), e, 72 registros, ou seja, 99%, são superiores a cota de alerta (400 cm). Também se observa na Tabela 01

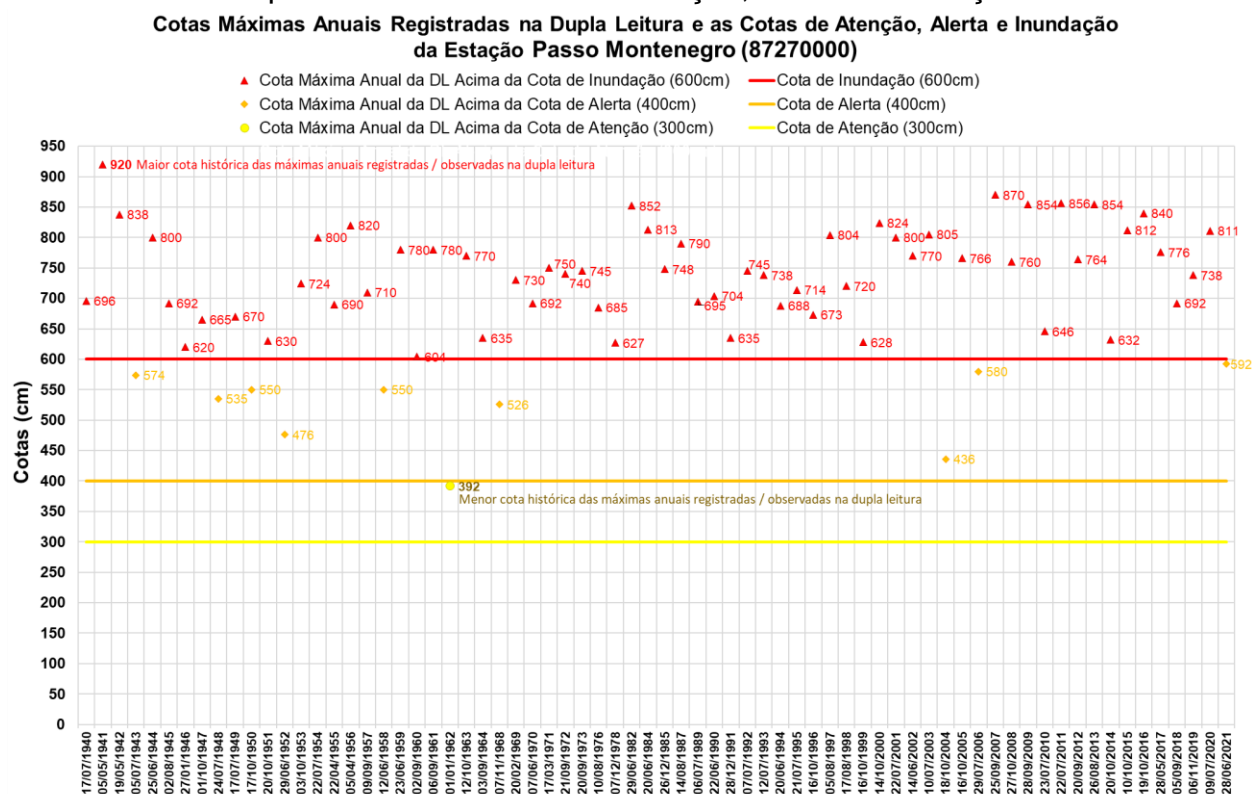
e na Figura 04 que 63 registros, ou seja, 86%, são superiores a cota de inundação (600 cm), considerando as cotas de atenção, alerta e inundação do SACE Caí em 07/2022 (SACE informação do rio até você!, 2020; TUTORIAL – saiba como identificar se um rio está em estado de alerta de cheias através do SACE, 2020).

Tabela 01 – Número e percentual de anos com cotas menores e maiores que a cota de atenção, e maiores que as cotas de alerta e inundação

Número Total de Anos com Dados Dupla Leitura	73	% em Relação ao Total
Nº de Anos com Cotas <b>Maiores</b> que Inundação	<b>63</b>	<b>86,3%</b>
Nº de Anos com Cotas <b>Maiores</b> que Alerta	<b>72</b>	<b>98,6%</b>
Nº de Anos com Cotas <b>Maiores</b> que Atenção	<b>73</b>	<b>100%</b>
Nº de Anos com Cotas <b>Menores</b> que Atenção	<b>0</b>	<b>0%</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 04 – Cotas máximas anuais registradas nos boletins dupla leitura, e as linhas representando as cotas de atenção, alerta e inundação



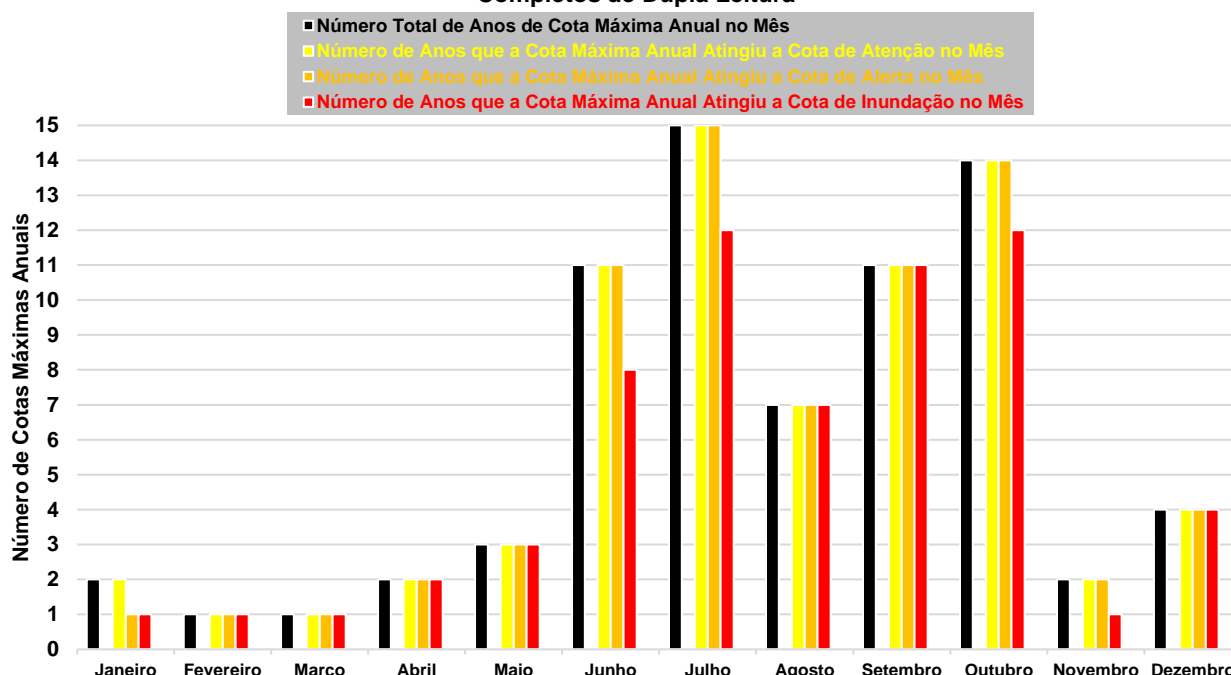
Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Figura 05, observa-se o histograma com a frequência com que as cotas máximas anuais DL (Figura 04 e Anexo V) alcançaram ou superaram as cotas de atenção, alerta e inundação, em cada mês do ano, na estação Passo Montenegro (87270000). Percebe-se no histograma que, dos 73 anos estudados, cinco meses registraram duas ou menos cotas máximas anuais DL, sendo eles janeiro, fevereiro, março, abril e novembro. Nota-se também que os meses de fevereiro e março, obtiveram apenas uma cota máxima anual DL, que atingiu também, no mínimo, a cota de

inundação. Nota-se também que, de novembro a maio, há por mês, no máximo, quatro cotas máximas anuais, sendo que todas atingiram a cota de inundação e, sendo também, o período anual que menos cotas máximas anuais foram registradas para a estação. Já no período mensal de junho a outubro, verifica-se uma maior quantidade de observações de cotas máximas anuais, ou seja, concentram a maior frequência de cotas máximas anuais da série de dados históricos de cotas dupla leitura, de 1940 a 2021, que variam de, no mínimo, sete para o mês de agosto a 15 para o mês de julho. No gráfico da Figura 05 observa-se que todos os registros de cotas máximas anuais dupla leitura alcançaram a cota de inundação da estação. Para a estação Passo Montenegro (87270000), mesmo o Estado do Rio Grande do Sul não tendo uma definição clara de começo e fim do ano hidrológico, como já comentado anteriormente, observa-se uma clara tendência das maiores cotas registradas em cada ano de se concentrarem entre os meses de junho e outubro, exatamente como também relatado por Marcuzzo e Pinto (2022) para a estação a montante no rio Caí, Barca do Caí (87170000).

Figura 05 – Cotas máximas anuais que atingiram as cotas de atenção, alerta e inundação, em cada mês do ano, na estação Passo Montenegro

**Cotas Máximas Anuais que Atingiram as Cotas de Atenção, Alerta e Inundação, em Cada Mês, na Estação Passo Montenegro (87270000) - Total de 73 Anos com Dados Completos de Dupla Leitura**



Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Figura 05 e na Tabela 02, observa-se nas frequências mensais das cotas máximas anuais em cada mês do ano da estação Passo Montenegro (87270000) que os meses que mais concentraram a cotas máximas anuais foram de junho a outubro, exatamente como relatado por Marcuzzo e Pinto (2022) para a estação Barca do Caí (87170000), localizada mais a montante no rio Caí. Observa-se que setembro e outubro obtiveram o maior número de cotas máximas anuais, com 16 (20,3%) cada um destes meses. Nota-se nas frequências mensais das cotas máximas anuais em cada mês do

ano da estação Passo Montenegro (87270000), na Figura 05 na Tabela 02, que, em 73 anos de dados dupla leitura, dos 12 meses do ano, nos 12 meses foi atingida ou superada as cotas de atenção (300 cm), alerta (400 cm) e de inundação (600 cm). Também se observa na Tabela 02 e na Figura 05 que os meses de fevereiro e março foram, com uma única vez (1%), os meses que menos atingiram ou superaram a cota de atenção (300 cm) com a cota máxima anual DL. Já os meses de janeiro a março, foram, com uma única vez (1%), os meses que menos atingiram ou superaram a cota de alerta (400 cm) e inundação (600 cm), com a cota máxima anual DL.

Tabela 02 – Número de cotas máximas anuais em cada mês e o número de vezes que essa cota máxima anual no mês atingiu a cota de atenção, alerta e inundação

Mês	<sup>1</sup> N	<sup>2</sup> % N	<sup>3</sup> SAAt	<sup>4</sup> % SAAt	<sup>5</sup> SAI	<sup>6</sup> % SAI	<sup>7</sup> SIn	<sup>8</sup> % SIn
Janeiro	2	2,7%	2	2,7%	1	1,4%	1	1,4%
Fevereiro	1	1,4%	1	1,4%	1	1,4%	1	1,4%
Março	1	1,4%	1	1,4%	1	1,4%	1	1,4%
Abril	2	2,7%	2	2,7%	2	2,7%	2	2,7%
Mai	3	4,1%	3	4,1%	3	4,1%	3	4,1%
Junho	11	15,1%	11	15,1%	11	15,1%	8	11,0%
<b>Julho</b>	<b>15</b>	<b>20,5%</b>	<b>15</b>	<b>20,5%</b>	<b>15</b>	<b>20,5%</b>	<b>12</b>	<b>16,4%</b>
Agosto	7	9,6%	7	9,6%	7	9,6%	7	9,6%
Setembro	11	15,1%	11	15,1%	11	15,1%	11	15,1%
Outubro	14	19,2%	14	19,2%	14	19,2%	12	16,4%
Novembro	2	2,7%	2	2,7%	2	2,7%	1	1,4%
Dezembro	4	5,5%	4	5,5%	4	5,5%	4	5,5%
<b>Total de Anos</b>	<b>73</b>	<b>100,0%</b>	<b>73</b>	<b>100,0%</b>	<b>72</b>	<b>98,6%</b>	<b>63</b>	<b>86,3%</b>
<b>Número de Meses do Ano que Atingiu ou Superou a Cota de Atenção, Alerta ou Inundação</b>			<b>12</b>	<b>100,0%</b>	<b>12</b>	<b>100,0%</b>	<b>12</b>	<b>100,0%</b>
<b>Número de Meses do Ano que Não Atingiu ou Superou a Cota de Atenção, Alerta ou Inundação</b>			<b>0</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>	<b>0,0%</b>

<sup>1</sup> N - Número Total de Anos de Cota Máxima Anual no Mês.

<sup>2</sup> % N - Percentual do Número Total de Anos de Cota Máxima Anual no Mês.

<sup>3</sup> SAAt - Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Atenção no Mês.

<sup>4</sup> % SAAt - Percentual do Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Atenção no Mês.

<sup>5</sup> SAI - Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Alerta no Mês.

<sup>6</sup> % SAI - Percentual do Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Alerta no Mês.

<sup>7</sup> SIn - Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Inundação no Mês.

<sup>8</sup> % SIn - Percentual do Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Inundação no Mês.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota-se que, para a estação Passo Montenegro (87270000), a maior frequência de meses em que as cotas de atenção, alerta ou inundação são atingidas ou superadas, são de junho a outubro (Figura 05 e Tabela 02). O mês que mais atingiu ou superou a cota de atenção (300 cm) e alerta (400 cm) foi julho, com 15 (20,5%). Já os meses que mais atingiram ou superaram a cota de inundação (600 cm), foram, julho, com 12 (16,4%) e outubro, também com 12 (16,4%). Verifica-se que, entre 01/01/1940 e 31/12/2021, com anos não completos, das 73 observações registradas disponíveis, que puderam ser utilizadas após consistência específica para este trabalho, de cotas máximas anuais

dupla leitura (Anexo V), 73 (100%) atingiram a cota de atenção (300 cm), 72 (98,6%) atingiram a cota de alerta (400 cm) e 63 (86,3%) atingiram a cota de inundação (600 cm).

A estação de Passo Montenegro possui, desde a sua implementação, em dezembro de 1939, réguas linimétricas instaladas para realização de duas leituras diárias pelo observador dos níveis do rio Caí, as 07h e as 17h. Contudo, até junho de 2022, estavam disponíveis para utilização apenas arquivos de dupla leitura a partir de 1939 com falhas em diversos anos. Sem dados os anos de: 1974, 1975, 1977, 1981, 1983 e 1988. Considerando até dezembro de 2021, totalizou-se 73 anos de dados de dupla leitura de cotas (Anexo V) utilizadas neste estudo de análise de frequências.

Ressalta-se que, neste estudo, ao invés de se utilizar o ano hidrológico, que na maioria das vezes não é compatível com o ano civil para a maioria das bacias hidrográficas brasileiras, optou-se por utilizar o ano civil na coleta das máximas cotas anuais observadas. Este fato decorre da boa uniformidade de distribuição de chuva nos meses do ano (SIMON; PICKBRENNER; MARCUZZO (2013); MARCUZZO; MELATI, 2015b, 2017a,b), tanto na bacia do rio Caí como um todo, como na sub-bacia 87, o que impossibilita a determinação de um mês de início e um mês de fim do ano hidrológico.

Segundo o relatório anual de 2020 (SILVA, 2020) e de 2021 (SILVA, MATOS, 2021) do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da bacia do rio Caí, o mesmo entrou em operação em no dia 17/09/2012, quando o SAH-Caí emitiu o seu primeiro boletim de alerta hidrológico, mantendo a sua operação ininterrupta até o presente momento da elaboração deste texto. Os autores também relatam que o Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM deu início em 2009 aos estudos de concepção do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Caí (SAH-Caí). Entre os anos de 2010 e 2011 foram realizadas as instalações dos primeiros equipamentos automáticos de medição de cotas, dotados de transmissão via GPRS (telefonia móvel), posteriormente, em 2018, os equipamentos de medição passam por um processo de modernização adotando a tecnologia de transmissão via satélite (GOES).

Até a data de preparação deste texto, a dificuldade de se obter uma curva-chave e extrapolação confiável, devido à alta dispersão de dados provocada pela influência do nível do rio Jacuí, no Delta do Jacuí (Figura 01 e Anexo III), e possível histerese para cotas altas, conforme relatado anteriormente, para se estimar vazões máximas confiáveis, atrelado a não alteração da cota do zero da régua, a ausência de mudanças significativas na geometria do trecho onde está instalada a estação fluviométrica, fez com que se optasse pela análise da frequência de cotas máximas e não vazão máxima.

Adverte-se que os tempos de retorno das cotas estimadas a partir de uma distribuição de probabilidades das cotas não são idênticos aos das vazões, ou seja, uma cota máxima não possui o mesmo tempo de retorno (que nada mais é que o período que decorre entre dois eventos de igual magnitude) que a vazão máxima gerada por essa mesma cota máxima, seja essa vazão máxima medida no rio ou estimada por curva-chave. Isso se ocorre devido ao fator de escala, ou seja, as diferenças numéricas entre cotas e vazões que influenciam os cálculos dos parâmetros das distribuições (MARCUIZZO; PINTO, 2021). Adiciona-se a isso, para os casos de extrapolações de curvas-chave com elevada razão entre as cotas máximas observadas com as cotas com medição de vazão superior a 1,25, os possíveis erros e assimetrias geradas pelas

equações potenciais das curvas-chave que geram/estimam as vazões máximas para as cotas máximas registradas. Associada ao fator de escala e os possíveis erros das equações potenciais das curvas-chave com grande extrapolação, há também o peso variável da histerese entre a relação vazão medida e a cota registrada para essa mesma vazão medida, fazendo com que, para uma mesma cota observada, se tenha vazões diferentes, a depender se a vazão é medida, e/ou estimada pela curva-chave, estando o curso d'água com cotas ascendentes ou descendentes (MARCUIZZO; MALDONADO; SOUZA, 2019).

Segundo Silva (2020) e Silva e Matos (2021), a partir do monitoramento e da previsão hidrológica, as informações são divulgadas através do sitio do Serviço Geológico do Brasil (SGB) e os boletins de alerta hidrológico também são encaminhados para o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), Defesa civil municipal e estadual, conforme protocolo estabelecido pela portaria nº 148 de 18 de dezembro de 2013, de modo que sejam tomadas as medidas necessárias para a redução dos prejuízos pessoais e materiais causados pelas inundações.

A delimitação das áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa do município de Montenegro/RS, pode ser analisado na publicação de Hoelzel e Lamberty (2016).

## 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 realizadas 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 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 chave; 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. Nos estudos de análise de frequência local de máximos por ano hidrológico do projeto de Regionalização são adotadas as distribuições candidatas de dois parâmetros conforme recomendação de Hosking e Wallis (1997). As distribuições candidatas são a 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.

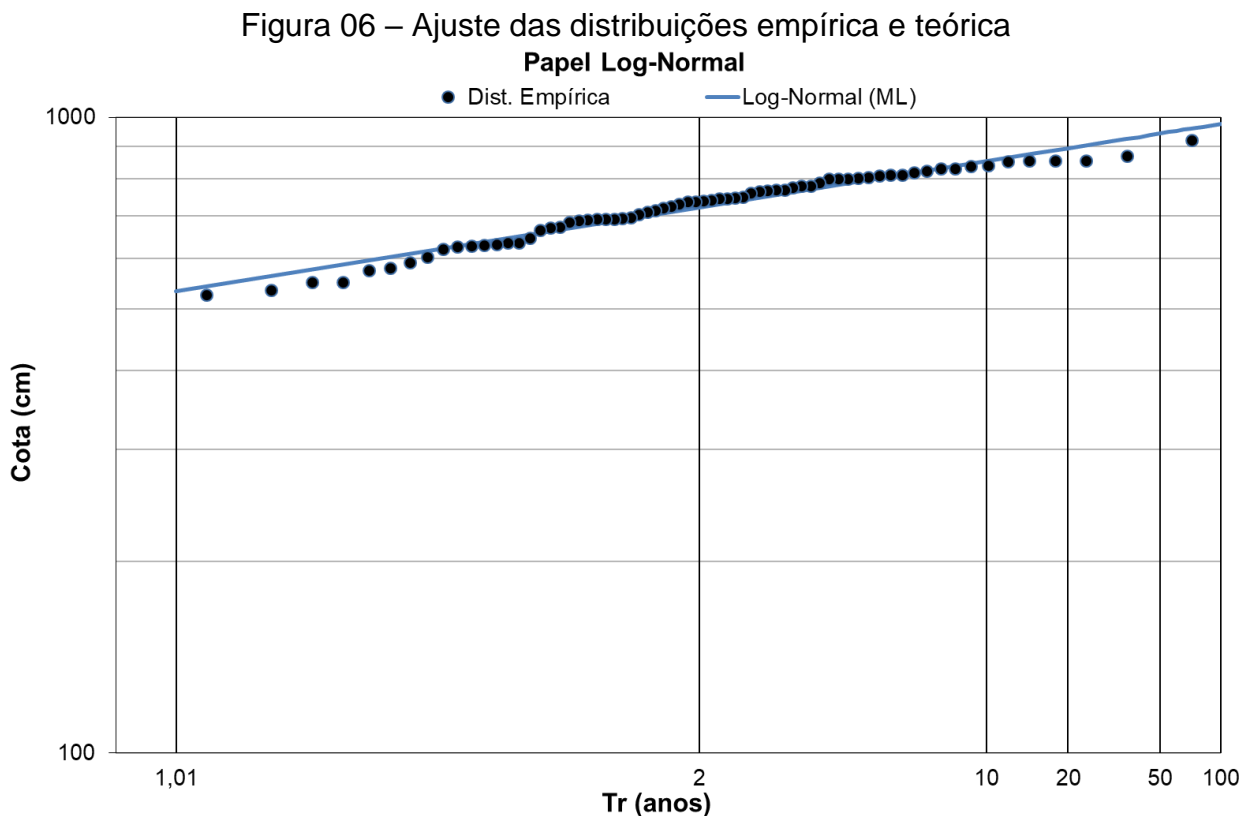
A aderência da distribuição teórica candidata à curva da distribuição empírica é verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A descrição detalhada destes testes é encontrada em Naghettini e Pinto (2007, p. 275-278).

- 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.

### 3 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL

A análise de frequência local dos níveis do rio Caí em Passo Montenegro, código 87270000, foi efetuada utilizando a série de cotas máximas por ano civil (01/Jan a 31/Dez), apresentadas no Anexo V, visto que não há definição de início e fim do ano hidrológico na região (SIMON, PICKBRENNER, MARCUZZO, 2013; MARCUZZO, SIMON, 2016). No Anexo V também são apresentados alguns endereços eletrônicos, disponíveis na Internet, de alguns eventos de cheia registrados de Montenegro/RS. A distribuição de frequência selecionada foi a Log-Normal (Anexo II). As estatísticas da série de dados e os parâmetros calculados pelo Método dos Momentos-L são apresentados no Anexo V. As duas distribuições candidatas, Gumbel e Log-Normal, não foram rejeitadas pelo teste de aderência. A distribuição Log-Normal foi selecionada por apresentar menor desvio padrão dos resíduos entre a distribuição empírica e a teórica. A Figura 06 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas.



Fonte: Elaborada pelos autores.

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

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

Em que:

$T$  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 (6,58189);

$\sigma$  é o parâmetro de escala (0,13011).

A equação 01 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 100 anos. A Tabela 03 apresenta as cotas associadas a diferentes tempos de retorno da estação Passo Montenegro (87270000) pelo modelo de distribuição de frequência Log-Normal com o Método de Momentos-L.

Tabela 03 – Cotas, em centímetros, para diferentes tempos de retorno, em anos

	Tempo de Retorno, T (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
Cotas (cm)	722	805	853	878	894	907	916	932	943	952	963	972	977

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a estação Passo Montenegro (87270000) a hipótese nula do teste de estacionariedade foi rejeitada para o nível de significância de 5,0%. Entretanto, a hipótese nula seria aceita para um nível de significância de 4,8%.

## 4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) No dia 05/05/1941 o rio Caí, em sua margem esquerda, no município de Capela de Santana/RS, em que está localizado a estação fluviométrica Passo Montenegro com código 87270000, que atende a previsão de cotas em sua margem direita do rio, na área urbana do município de Montenegro/RS, pelo SACE Caí do SGB, alcançou a cota de 920 cm. Qual é o tempo de retorno desta cota? Qual a probabilidade desta cota ser igualada ou superada?

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

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

*Para a cota registrada de 920 cm, o parâmetro de posição é  $\mu = 6,58189$  e o de escala é  $\sigma = 0,13011$ . Substituindo os valores na equação 02 temos:*

$$Z_{\left(1-\frac{1}{T}\right)} = \frac{(\ln(920) - 6,58189)}{0,13011} = 1,86368$$

*Levando o valor 1,86368 em uma tabela de Inversa da Distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMP.N do Excel obtém-se:  $P(Z \leq 1,86368) = 0,96882$ .*

*O tempo de retorno será:*

$$T = \frac{1}{1 - P(Z \leq z)} \quad (03)$$

$$T = \frac{1}{1 - 0,96882} = 32,07 \text{ anos}$$

*A probabilidade de a cota ser igualada ou superada será:*

$$P(x_T \geq \text{Cota}) = \frac{1}{T} 100 \quad (04)$$

$$P(x_T \geq 920\text{cm}) = \frac{1}{32,07} 100 = 3,12\%$$

*O tempo de retorno de 32,07 anos, corresponde a probabilidade de 3,12% da cota 920 cm ser igualada ou superada em um ano qualquer.*

- b) Qual é o tempo de retorno da cota de atenção em Passo Montenegro (código 87270000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de atenção em Passo Montenegro, código 87270000, em 07/2022, é 300 cm. Substituindo este valor e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 1 ano. A probabilidade da cota de 300 cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 100%.*

- c) Qual é o tempo de retorno da cota de alerta em Passo Montenegro (código 87270000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de alerta em Passo Montenegro, código 87270000, em 07/2022, é 400 cm. Substituindo este valor e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 1 ano. A probabilidade da cota de 400 cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 100%.*

- d) Qual é o tempo de retorno da cota de inundação em Passo Montenegro (código 87270000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de inundação em Passo Montenegro, código 87270000, em 07/2022, é 600 cm. Substituindo este valor e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 1,08 anos. A probabilidade da cota de 600 cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 95,59%.*

- e) Uma agroindústria será instalada no município de Montenegro as margens do rio Caí. Considerando a transposição das cotas das réguas da estação Passo Montenegro (código 87270000), até o local de sua instalação, verificou-se que a agroindústria terá sua base instalada na cota 966 cm (920 cm na estação Passo Montenegro, em 05/05/1941, mais 5%). Considerando a análise de frequência de cotas, aqui publicados, qual é o tempo de retorno da cota na base da agroindústria e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada pelo rio Caí em um ano qualquer?

Resposta: *Substituindo a cota de 966 cm e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 79,43 anos. A probabilidade da cota de 966 cm, na base da instalação da agroindústria, ser igualada ou superada pelo rio Caí, em um ano qualquer, é de 1,26%.*

- f) Oliveira, Guasselli e Saldanha (2012), em um trabalho sobre modelos de previsão e espacialização das áreas inundáveis, aplicados ao município de Montenegro/RS, determinou que a cota de 870 cm, que foi a segunda maior inundação histórica registrada, ocorrida em Montenegro/RS em 25/09/2007, como sendo o nível indicativo de inundação de 140 hectares na área territorial do município. Considerando a análise de frequência de cotas, aqui publicados, utilizando 70 anos de cotas máximas provenientes da dupla leitura, que passaram no teste de limite inferior de Grubbs e Beck, de um total de 73 anos estudados, qual é o tempo de retorno desta cota de inundação, de 870 cm ocorrida em 25/09/2007, na cidade de Montenegro/RS, que segundo Oliveira, Guasselli e Saldanha (2012) atinge 140 hectares do município?

*Resposta: Substituindo a cota de inundação de 870 cm e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno desta cota é de 13,20 anos. A probabilidade da cota inundação de 870 cm, que, segundo Oliveira, Guasselli e Saldanha (2012), atinge 140 hectares no município de Montenegro/RS, ser igualada ou superada pelo rio Caí, em um ano qualquer, é de 7,58%.*

A planilha com os cálculos destes exemplos de aplicação pode ser obtida clicando [AQUI](#). A planilha só funciona corretamente após baixada da rede para ser utilizada no EXCEL do teu próprio computador. Quando abrir a página do link acima, ir em Arquivo >> Fazer Download.

## Considerações sobre os exemplos de aplicação

Segundo Oliveira (2010) e Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010; 2012), a cota média do rio Caí em Passo Montenegro (87270000) é de 1,62m na régua da estação, em que a maior cota atingida foi de 9,20m (7,58 m acima da média), em 05/05/1941. Está inundação histórica, de 9,20m, de 05/05/1941, coincidindo com a maior inundação histórica registrada na capital, Porto Alegre, devido a influência das cotas do Guaíba e do Delta do Jacuí no nível do rio Caí em sua parte baixa (Anexo III). Segundo Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010), a inundação histórica em Montenegro, de 05/05/1941, quando a cota em Passo Montenegro (87270000) atingiu 9,20m, possui um tempo de retorno de 63 anos, muito superior ao resultado deste estudo, que resultou em 32 anos. No trabalho de Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010), segundo os autores, quando dissertam da manipulação dos dados fluviométricos do seu estudo, denotam que utilizam de cotas médias e não cotas do banco da dupla leitura, além de ressaltarem que as séries de dados que utilizaram apresentaram algumas falhas e/ou erros de leitura e não relatam que procederam qualquer tipo de consistência dos dados ou verificações. Neste trabalho, como já descrito na introdução, executou-se uma análise criteriosa dos dados das cotas dupla leitura utilizados, baseado na conferência de dados de máxima nos boletins dos observadores de campo, além de se utilizar de estações de apoio para se confirmar e validar os dados de máximas de cada ano, o que resultou em inúmeras correções no banco de dados utilizado.

Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010), relatam que o cálculo do tempo de retorno que procederam se baseou em Christofolletti (1981). Verificando da página 56 a 59 de Christofolletti (1981), nota-se que o mesmo denomina o tempo de retorno como *Intervalo de Recorrência*, compreendendo a seleção do evento de maior magnitude em cada ano da série histórica, o ordenamento dos eventos conforme a sequência de magnitude, dos valores mais elevados para os menores e a aplicação da equação:  $IR = (N + 1) / M$ , em que IR é o intervalo de recorrência ou, como aqui denominado, tempo de retorno, N é o número total de eventos considerados na série e M é o número de ordem que representa a posição da cheia na escala organizada. Utilizando essa metodologia os autores relatam que a cota de 8m é atingida com recorrência de 5 anos e a cota 7m possui tempo de retorno inferior a 2 anos. Os autores também relatam uma pequena variação da cota (1m) entre um evento com mais de 30 anos de tempo de retorno (8,70m em 2007) e outro com tempo de retorno de 3 anos (7,70m em 1980). Utilizando-se o modelo deste estudo, chega-se a um tempo de retorno de 4,65 anos para a cota de 8m e de 1,68 anos para a cota de 7 m. Já para o evento de 25/09/2007, com 8,70m, o tempo de retorno para o modelo aqui apresentado é de 13,2 anos e para o evento de 31/07/1980 (considerando o banco de cotas médias) de 7,70m, que também ocorreu em 12/10/1963 e em 14/06/2002 (considerando o banco de cotas dupla leitura aqui estudado), foi de 3,23 anos.

Giacomelli *et al.* (2020), em um estudo de validação de limiares de inundação para as bacias do rio Caí e Sinós, utilizando imagens de satélite, organizaram dados diários

de nível para que fossem calculadas as permanências de cada nível e seu respectivo tempo de retorno para as estações, correlacionando com os valores dos limiares de inundação de 10m para a estação Barca do Caí, 6m para a estação Passo do Montenegro. Segundo estes autores, as cotas de inundação mencionadas correspondem a um tempo de retorno de 1,2 anos. Já segundo os dados aqui publicados, para Passo Montenegro, o tempo de retorno da cota de inundação de 6m é de 1,08 anos. Já no trabalho publicado para a estação Barca do Caí, o tempo de retorno para a cota de 10m é de 1,07 anos (MARCUIZZO; PINTO, 2022). Vale a ressalva que, para cota considerada de inundação pelo SACE do Serviço Geológico do Brasil (<http://www.cprm.gov.br/sace/>) na época da redação deste trabalho, é de 10,5m e não 10m, como citado por Giacomelli *et al.* (2020). Para a cota de 10,5m, na estação Barca do Caí (87170000), o tempo de retorno é de 1,14 anos (MARCUIZZO; PINTO, 2022).

No trabalho de Silva (2019), sobre previsão hidro econômica de curto prazo com modelo de redes neurais artificiais: aplicação à bacia do rio caí, o autor também executa uma análise de frequência de cotas da estação Passo Montenegro (87270000), utilizando uma serie com 77 anos de dados de cotas máximas anuais, não citando no trabalho se os dados são oriundos de banco dupla leitura ou de médias diárias (SILVA, 2019, páginas 59 e 60). Considerando o modelo Log-Normal, o autor publicou neste trabalho um tempo de retorno de 20 anos para a cota de 927 cm, próxima a maior cota dupla leitura registrada até o momento que foi de 920 cm. Considerando os valores de posição e escala aqui publicados, para este modelo de análise de frequência de cotas, e considerando a cota de 927cm, resulta-se em 36,62 anos de tempo de retorno, ou seja, 16,62 anos a mais que o tempo de retorno de Silva (2019) para a mesma cota. Já considerando 100 anos de tempo de retorno, Silva (2019), para o modelo de Log-Normal, chegou a uma cota de 1040 cm, enquanto neste presente trabalho, conforme a Tabela 03, chegou-se a uma cota de 977cm para o mesmo tempo de retorno.

Observa-se, nestes exemplos de aplicação, que os tempos de retornos para as cotas de atenção, com 1 ano para 300 cm, e, igual, de alerta, com 1 ano para 400 cm, e de inundação, com 1,08 anos para 600 cm, são curtos, ou seja, há uma grande frequência, ou seja, anual, que há emissão de boletins pelo SACE Caí para a localidade. Para se entender melhor o que ocorre, conforme já discutido na Introdução, e que pode ser observado na Tabela 01 e na Figura 04, dos 73 valores registrados e válidos de cotas máximas anuais oriundas dos boletins dupla leitura, de 12/1939 a 2021, em nenhum ano em relação ao total de observações das cotas máximas, possuem dados anuais menores que a cota de atenção (300 cm) e, apenas um valor, de 392 cm em 01/01/1962, ficou abaixo da cota de alerta (400 cm). Portanto, os 72 registros históricos de máximas anuais, ou seja, equivalente a 99% dos dados, são superiores a cota de alerta do SACE Caí, considerando os dados disponíveis em 07/2022 (CONHEÇA o Alerta de cheias do Serviço Geológico do Brasil, 2020). Observa-se também na Tabela 01 e na Figura 04 que 63 registros de cotas máximas anuais dupla leitura, ou seja, 86% do total de dados, ficaram acima da cota de inundação, de 6m, no município de Montenegro/RS.

Segundo Aimon (2017), uma das vantagens da utilização de modelos para o cálculo de tempos de retorno, como o utilizado neste estudo, é a possibilidade de a



equação extraída projetar tempos de retorno futuros, como 100 anos ou mais. Porém, para o autor, é evidente que essa extrapolação pode ocorrer uma subestimação ou superestimação das cotas para o tempo de retorno a ser estimado, ficando para o profissional que estiver utilizando o modelo, julgar se o resultado obtido é condizente com a realidade a campo.

Por fim, ressalta-se que a metodologia utilizada neste estudo considera apenas um evento por ano, ou seja, avalia uma cota máxima por ano para o conjunto de dados a serem estudados, independente do evento estudado atingir ou ultrapassar a cota de atenção, alerta ou inundação. Acrescenta-se também que, devido a utilização de um único evento por ano, principalmente no Rio Grande do Sul onde não é possível se determinar um mês de início e fim do ano hidrológico e onde as chuvas são bem distribuídas em volume no decorrer dos meses do ano e, portanto, não é possível afirmar qual ou quais meses do ano é provável ocorrer uma inundação, é provável que ocorreram muitos eventos de máximas num mesmo ano, e, por não ultrapassarem o evento máximo anual registrado, não foram considerados.

## 5 – REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Hidroweb**: inventário.zip. Brasília, DF: ANA, 2022. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download>. Acesso em: 10 mai. 2022.

AIMON, J. G. S. **Análise espaço-temporal do risco à inundação na área urbana do município de Uruguaiana, RS**. 2017. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12166>. Acesso em: 07 jul. 2022.

ALVES, L. G. S.; SOTÉRIO, P. W.; DIAS, F. L. **Relatório para estabelecimento de cotas de referência para alerta hidrológico em municípios da Amazônia ocidental**. Manaus: CPRM, 2021. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22012>. Acesso em: 26 jul. 2022.

BUFFON, F. T.; ROLIM, F. E.; MARCUZZO, F. F. N. Características das seções transversais na modelagem da propagação do escoamento na bacia do rio Uruguai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais[...]** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21529>. Acesso em: 05 jun. 2022.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**: o canal fluvial. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CONFIRA cobertura completa de imagens em todos os bairros atingidos pela enchente em Montenegro RS. Montenegro, RS: Montenegro FM, [s.d.]. 1 vídeo (14,23 min.). Publicado por Montenegro FM 87.9. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=Hxv8\\_toVRR8](https://www.youtube.com/watch?v=Hxv8_toVRR8). Acesso em: 07 jul. 2022.

CONHEÇA o Alerta de cheias do Serviço Geológico do Brasil. [s.l.]: TV CPRM, 2020. 1 vídeo (2,52 min.). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=yMOE5eAWiWw&list=PLhUEW6fPG6OIG\\_ECq3bVOfXkcWuuNsKQX&index=18](https://www.youtube.com/watch?v=yMOE5eAWiWw&list=PLhUEW6fPG6OIG_ECq3bVOfXkcWuuNsKQX&index=18). Acesso em: 10 jun. 2022.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação**: município de Caxias do Sul - RS. [Brasília]: CPRM, 2017. 1 mapa, color. Escala 1:120.000. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18173>. Acesso em: 22 jun. 2022.

ENCHENTE em Montenegro - maio 2017. Montenegro, RS: TV Cultura do Vale, 2017. 1 vídeo (313 min.). Publicado por TV Cultura do Vale. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=labw57o9RkE>. Acesso em: 07 jul. 2022.

FINCK, J. S.; GUIMARÃES, G. M.; KOEFENDER, A.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA, D. B.; MARCUZZO, F. F. N. Diagrama unifilar de dados hidrológicos em bacia hidrográfica: proposta de modelo e passo a passo de como fazer consistindo os dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais[...]** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18491>. Acesso em: 13 set. 2021.

GIACOMELLI, L. V. Z.; NECTOUX, M. P.; VALENTE, C. P.; SCOTTA, F. C.; FAN, F. M. Validação de limiares de inundação para as bacias hidrográficas do Caí e Sinos através de imagens de satélite. *In: Encontro Nacional de Desastres, 2., 2020, Porto Alegre, Anais[...]* Porto Alegre: ABRHidro, 2020. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=7252>. Acesso em: 07 jul. 2022.

GUIMARÃES, G. M.; ALMEIDA, D. B.; MARCUZZO, F. F. N. SIG na construção de diagramas unifilares das estações F, FD, P, Pr além das UHE, PCH, CGH das sub-bacias 80 a 84 na bacia hidrográfica do Atlântico – Trecho Sudeste. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., Santos, SP, 2017. Anais[...]* Santos, SP: INPE, 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17848>. Acesso em: 22 jun. 2022.

GUIMARÃES, G. M.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Construção de diagramas unifilares da rede hidrometeorológica nacional e de aproveitamentos hidrelétricos das sub-bacias 85 a 88, na bacia hidrográfica do Atlântico – trecho sudeste. **Geographia Meridionalis** - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, v. 3, n. 3. p. 276–300, jul-dez. 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18953>. Acesso em: 22 jun. 2022.

HOELZEL, M.; LAMBERTY, D. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchente e inundação**: Montenegro, Rio Grande do Sul. [S.l.]: CPRM, 2016. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20100>. Acesso em: 22 jun. 2022.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis: an approach based on L - moments**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. DOI <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529443>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/regional-frequency-analysis/8C59835F9361705DAAE1ADFDEA7ECD30> Acesso em: 16 jul. 2021.

IMAGENS aéreas da enchente em Montenegro - em boa definição – Montenegro. Montenegro, RS: Montenegro FM, [s.d.]. 1 vídeo (6,13 min.). Publicado por Montenegro FM 87.9. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=T2PkQPJCB\\_E](https://www.youtube.com/watch?v=T2PkQPJCB_E). Acesso em: 07 jul. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2010**. Brasília, DF: IBGE, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 16 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**. Brasília, DF: IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>. Acesso em: 23 jun. 2022.

INUNDAÇÃO EM SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ DIA 08 DE JULHO DE 2020. Brasil: [s.n.], 2020. 1 vídeo (1,47 min.). Publicado por fernandomfan. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=weCURM6krkE>. Acesso em: 21 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**, Durham,

v.18, n. 1, p 50-60, mar, 1947. DOI <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>  
Disponível em: <https://projecteuclid.org/journals/annals-of-mathematical-statistics/volume-18/issue-1/On-a-Test-of-Whether-one-of-Two-Random-Variables/10.1214/aoms/1177730491.full>. Acesso em: 05 mar. 2021.

MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Densidade de estações fluviométricas com descarga líquida na sub-bacia da lagoa dos patos segundo os critérios da Organização Mundial de Meteorologia. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 27., 2015, João Pessoa. **Anais[...]**. João Pessoa: INPE, 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17438>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MARCUZZO, F. F. Mapas e opções de divisão territorial do estado do Rio Grande do Sul por bacias hidrográficas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 49., 2018, Rio de Janeiro. **Anais[...]**. Rio de Janeiro: SBG, 2018. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/19906>. Acesso em: 29 jul. 2022.

MARCUZZO, F. F. N. Bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil: cálculo de áreas, diferenças e considerações. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 22., 2017, Florianópolis. **Anais[...]**. Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18492>. Acesso em: 29 jul. 2022.

MARCUZZO, F. F. N. Curva-chave sob efeito de assoreamento e dragagem traçada e ajustada pelo SIADH. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais[...]** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21531>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MARCUZZO, F. F. N.; MALDONADO, L. H.; SOUZA, S. A. de. Curva-chave sob efeito de histerese: traçado e ajuste de curva-chave média e em laço. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais[...]** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21532>. Acesso em: 22 jul. 2021.

MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. A concepção e mapeamento dos diagramas unifilares das estações fluviométricas nas sub-bacias pertencentes a Bacia Hidrográfica do Atlântico - trecho sudeste. *In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE; ENCONTRO TÉCNICO AESABESP*, 26., 2015, São Paulo. **Anais[...]**. São Paulo: AESABESP, 2015. v. 1. p. 1- 20. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15128>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Mapeamento da máxima, média e mínima precipitação pluviométrica mensal nas sub-bacias pertencentes às bacias do Rio Uruguai e do Atlântico no trecho Sudeste. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 18., Santos, SP, 2017. **Anais[...]**. Santos, SP: INPE, 2017b. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17854>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Mapeamento fisiográfico básico das sub-bacias pertencentes à bacia hidrográfica do Atlântico no Trecho Sudeste. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 18., Santos, SP, 2017. **Anais[...]**.

Santos, SP: INPE, 2017a. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17849>. Acesso em: 29 mai. 2022.

MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Precipitação pluviométrica mensal nas sub-bacias que integram à Bacia do Atlântico - Trecho Sudeste. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais[...]**. Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15055>. Acesso em: 13 jun. 2022.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas de sistemas de alerta**: Sistema de Alerta Bacia do Rio Caí, Rio Caí, Estação Fluviométrica Nova Palmira, código 87160000. Porto Alegre: CPRM, 2022a. Programa Gestão de Risco e Resposta a Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos. Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas de sistemas de alerta**: Sistema de Alerta Bacia do Rio Caí, Rio Caí, Estação Fluviométrica Barca do Caí, código 87170000. Porto Alegre: CPRM, 2022b. Programa Gestão de Risco e Resposta a Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos. Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas de sistemas de alerta**: Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai, Rio Uruguai, Estação Fluviométrica Itaqui, código 75900000. Porto Alegre: CPRM, 2021. Programa Gestão de Risco e Resposta a Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22611>. Acesso em: 24 ago. 2022. Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras.

MARCUZZO, F. F. N.; SIMON, F. W. Perscrutamento gráfico dos indicadores de variabilidade de vazão na sub-bacia 87. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 29.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POCOS, 20., 2016, Campinas, SP. **Anais[...]**. Campinas, SP: ABAS, 2016. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17053>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Espacialização da recomendação de novas estações pluviométricas na sub-bacia 87 segundo os critérios de densidade da Organização Mundial de Meteorologia. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 25-29 abr. 2015, João Pessoa. **Anais[...]**. São José dos Campos: INPE, 2015. v. 1. p. 27- 34. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15130>. Acesso em: 25 mai. 2022.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/454>. Acesso em: 03 mar. 2021.

NAITZEL, L. T.; GOLDENFUM, J. A.; MARCUZZO, F. F. N. Recuperação de dados históricos da rede de referência e dos sistemas de alerta do rio Caí, Taquari e Uruguai.

*In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 15., 2020, [Brasil].  
**Anais[...]**. [Brasil]: ABRH, 2020. Disponível em:  
<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21807>. Acesso em: 13 jun. 2022.

O QUE é curva chave? [s.l.]: TV CPRM, 2019. 1 vídeo (4,24 min.). Disponível em:  
[https://www.youtube.com/watch?v=Z72tADxD-c0&list=PLhUEW6fPG6OIG\\_ECq3bVOF\\_XkcWuuNsKQX&index=5](https://www.youtube.com/watch?v=Z72tADxD-c0&list=PLhUEW6fPG6OIG_ECq3bVOF_XkcWuuNsKQX&index=5). Acesso em: 10 jun. 2022.

OLIVEIRA G.G. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS**. Porto Alegre, 2010. 148 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2010. Disponível em:  
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26020/000753299.pdf?sequence=1>. Acesso em: 7 jul. 2022.

OLIVEIRA, G. G. de; GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L. Modelos de previsão e espacialização das áreas inundáveis em Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 13, n. 4, 2012. DOI: 10.20502/rbg.v13i4.249. Disponível em:  
<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/249>. Acesso em: 6 jul. 2022.

OLIVEIRA, G. G. de; SALDANHA, D. L.; GUASSELLI, L. A. Espacialização e análise das inundações na bacia hidrográfica do rio caí/RS São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 29, n. 3, p. 413- 427, 2010. Disponível em:  
[https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/29\\_3/12\\_Oliveira.pdf](https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/29_3/12_Oliveira.pdf). Acesso em: 7 jul. 2022.

PEDROLLO, M. C. R.; GERMANO, A. de O.; RODRIGUES, É.; MADUELL, J. C. Alerta hidrológico da Bacia do Rio Caí: concepção e implantação do sistema. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2011, Maceió. **Anais[...]**. Maceió: ABRHidro, 2011. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/1052>. Acesso em: 21 jun. 2022.

PEIXOTO, C. A. B.; LAMBERTY, D. **Setorização de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações: São Sebastião do Cai, Rio Grande do Sul**. [Porto Alegre]: CPRM, 2019. Disponível em:  
<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20137>. Acesso em: 22 jun. 2022.

PICKBRENNER, K.; SILVA, E. D.; WESCHENFELDER, A. B.; GERMANO, A. de O.; PINTO, E. J. de A. Cheia na bacia do rio Caí (RS) em outubro de 2016. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais[...]**. Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18910>. Acesso em: 21 jun. 2022.

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: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/11560>. Acesso: 03 mar. 2021.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil**: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-6604.html>. Acesso em: 17 ago. 2022.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. **Relatório temático A.2**: diagnóstico da disponibilidade hídrica. Porto Alegre: PROFFIL, 2007. 1ª Etapa do Plano da Bacia do Rio Caí: consolidação do conhecimento sobre recursos hídricos e enquadramento dos recursos hídricos superficiais.

REVISTA do Plano Caí: Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, Porto Alegre, n.2, set., 2007. Disponível em: Acesso em: 21 jun. 2022.

REZENDE, G. G.; SILVA, E. D.; OLIVEIRA, R. D. de; BINOTTO, R. B.; VIERO, A. C.; PEDROLLO, M. C. R. Determinação de altitudes ortométricas de estações fluviométricas para geração de manchas de inundação do Sistema de Alerta da Bacia do rio Caí. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48., 2016, Porto Alegre. **Anais[...]**. São Paulo: SBG, 2016. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17101>. Acesso em: 21 jun. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul: G030 – Bacia Hidrográfica do Rio Caí. Porto Alegre: Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, [2020]. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/g030-bh-cai>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SACE informação do rio até você! [S.l.]: TV CPRM, 2020. 1 vídeo (1 min.). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=d\\_q0q1run34](https://www.youtube.com/watch?v=d_q0q1run34). Acesso em: 10 jun. 2022.

SCHRÖDER, J. R. Memórias das cheias em São Sebastião do Caí. **Revista Latinoamericana de História**, São Leopoldo, v. 2, n. 7, p. 403-420, set. 2013. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/rla/index.php/rla/article/view/354>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SILVA, E. D. Determinação da cota de inundação severa com base no critério de prejuízos econômicos associados: aplicação ao município de São Sebastião do Caí, RS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 24., 2021, Belo Horizonte. **Anais[...]** Belo Horizonte: ABRH, 2021. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22446>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SILVA, E. D. **Previsão hidroeconômica de curto prazo com modelo de redes neurais artificiais**: aplicação à bacia do rio Caí. 2019. 131 f. Orientador: Guilherme Fernandes Marques. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21659>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SILVA, E. D. **Sistema de alerta hidrológico da Bacia do rio Caí (SAH-Caí): relatório de peração 2020.** Porto Alegre: CPRM, 2020. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21921>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SILVA, E. D.; BUFFON, F. T. Avaliação econômica da operação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Caí entre os anos de 2009 e 2020. *In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 2., 2020, Brasil. Anais[...].* Brasil; ABRH, 2020. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21961>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SILVA, E. D.; MATOS, A. J. S. **Sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Caí: relatório técnico de operação no período de novembro de 2020 a novembro de 2021: relatório de atividades, departamento de hidrologia.** Porto Alegre: CPRM, 2021. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22498>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SIMON, F. W.; PICKBRENNER, K.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo do regime hídrico pluvial e fluvial em bacia hidrográfica com precipitação homogênea. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20.,* Bento Gonçalves. *Anais[...].* São Paulo: ABRH, 2013. v.1. p.1-8. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17428>. Acesso em: 21 jun. 2022.

TSCHIEDEL, A. da F.; PICKBRENNER, K.; MARCUZZO, F. F. N. Análise hidromorfológica da Sub-Bacia 87. *In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 11., 2012, João Pessoa. Anais[...].* João Pessoa: ABRH, 2012. p. 1-20. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17426>. Acesso em: 21/06/2022.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões.** Porto Alegre: UFRGS. 2002.

TUTORIAL – saiba como identificar se um rio está em estado de alerta de cheias através do SACE. [s.l.]: TV CPRM, 2020. 1 vídeo (4,25 min.). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jWPLrKIKdNA>. Acesso em: 10 jun. 2022.

WALD, J.; 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, dec. 1943. Disponível em: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177731358>. Acesso em: 05 mar. 2021.

WESCHENFELDER, A. B.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência, município: São Sebastião Caí.** Porto Alegre: CPRM, 2017. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidade. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22098>. Acesso em: 22 jun. 2022.



ANEXO I

Ficha Descritiva, Ficha Complementar e Croqui  
Estação Fluviométrica de Passo Montenegro, código 87270000

## FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

### Identificação

Código:	87270000	Estação:	PASSO MONTENEGRO	Tipo:	FT
Região hidrográfica:	Atlântico Trecho Sul			Sub-bacia:	87
Bacia:	LAGUNA DOS PATOS				
Município:	Capela de Santana	Estado:	RS	Roteiro:	13
Latitude:	-29.7010	Longitude:	-51.4410	Altitude (m):	0
Instrumento:	GPS	Datum:	WGS 84		
Área de dren. (km <sup>2</sup> ):	4360	Instalada em:	01/12/1939	Extinta em:	
Coordenador:	ANA	Operador:	CPRM - SUREG/PA		
Código da folha:	2786	Nome da folha:	NOVO HAMBURGO		
Orgão executor:	DSG	Ano:	1984	Escala:	1:100.000

### Localização

A estação localiza-se no rio Caí, em frente a casa do observador.

### Acessibilidade

Saindo de Montenegro sentido Portão pela RS240, percorrer 2,5km, dobrar a direita pela estrada de terra, +14km, dobrar a direita, +5,3km até a estação na localidade de Passo do Manduca em capela de Santana.

### Seção de réguas

Margem: Margem esquerda

Réguas:

Oito lances de réguas fixadas em postes de madeira.

Lances: 000-100, 100-200, 200-400, 400-500, 500-600, 600-700, 700-800 e 800-900.

### Referências de nível

RN04 = 8133. Pino de ferro em estrutura de concreto a 6m do lance 800-900.

RN05 = 8755. Pino de ferro na escada da casa a 15m do lance 800-900.

RN07 = 6088. Pino de ferro em estrutura de concreto a 1m do lance 600-700.

## FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

### Seções e processos de medição

Nesta estação não é efetuada medição de descarga líquida.

Processo de medição: Sem Medição

Equipe:

Data: 14/06/2022

Estação: PASSO MONTENEGRO

Código: 87270000

### Potamografia

#### Características do trecho

Regime: Perene      Conformação: Retilínea      Fundo: Irregular

#### Posição em relação à rede

Montante: BARCA DO CAI      Jusante: PONTE DO CAI -

#### Natureza e inclinação das margens

Esquerda: Alta      Arenosa com Vegetação de Grande Porte  
Direita: Alta      Arenosa com Vegetação de Grande Porte

#### Leito

Natureza: Arenosa Sem Vegetação

#### Controle

Controle: Canal      Localização: A estação      Distância

#### Observador

Nome:		Apelido:	
Endereço:		Complemento:	casa
Bairro:	Zootecnia	Município:	Montenegro
Estado:	Rio Grande do Sul	CEP:	95.780-000
Telefone fixo:		Celular:	
Autorizado:		Apelido:	
Endereço:		Complemento:	
Telefone fixo:		Celular:	
Leiturista:			

### Observações

### Equipamentos

Régua limimétrica.  
Estação telemétrica com sensor de pressão.

---

Equipe:  
Estação: PASSO MONTENEGRO

Data: 14/06/2022  
Código: 87270000

---

## Passo Montenegro – 87270000 / 02951080 – PFT

### Objetivos do monitoramento

A estação fluviométrica Passo Montenegro está localizada na margem esquerda do rio Caí, no município de Montenegro/RS. A estação faz parte do Sistema de Alerta Hidrológico do Rio Caí. Dentro da rede hidrometeorológica nacional de referência, o objetivo deste ponto de monitoramento é:

- Eventos Hidrológicos Críticos

### Características físicas da estação

Acessibilidade: Saindo de Montenegro sentido Portão pela RS240 percorrer 2,5km, dobrar a direita pela estrada de terra e andar mais 14km, dobrar a direita, e andar mais 5,3km até a estação.

A estação fluviométrica possui 9 lances de réguas, sendo 8 entre o rio e a estrada e o último lance após a estrada, próximo à casa do observador.

O pluviômetro convencional está localizado atrás da casa do observador.

A estação automática está junto ao pluviômetro convencional, dentro do cercado. A PCD está alocada em um poste metálico de 1,5m de altura, não sendo necessária escada para acesso.

O sensor de nível é do tipo pressão e está instalado junto à seção de réguas.

### Medição de descarga

Não são realizadas medição de descarga líquida desde 2014 pois a estação está sujeita a processo de remanso em razão dos níveis do rio Jacuí e Lago Guaíba a aproximadamente 45km à jusante.

### Controle

Controle de canal.

### Cota $H_0$

Não se aplica.

### Referências de Nível

- RN 8 - 5592
- RN 9 - 8237

### Descrição dos equipamentos

A estação possui monitoramento automático com amostragem a cada 15 minutos e transmissão via satélite a cada 1 hora.

Instalação da telemétrica: 2014

ID GOES: BE429472, canal primário: 21, horário de transmissão: 00:32:10;

Modem: OTT 2ª geração preto;

Chave padrão: LAND-OTT

Fabricante: HIDROMEC OTT;

DataLogger: OTT NET\_DL 1000;

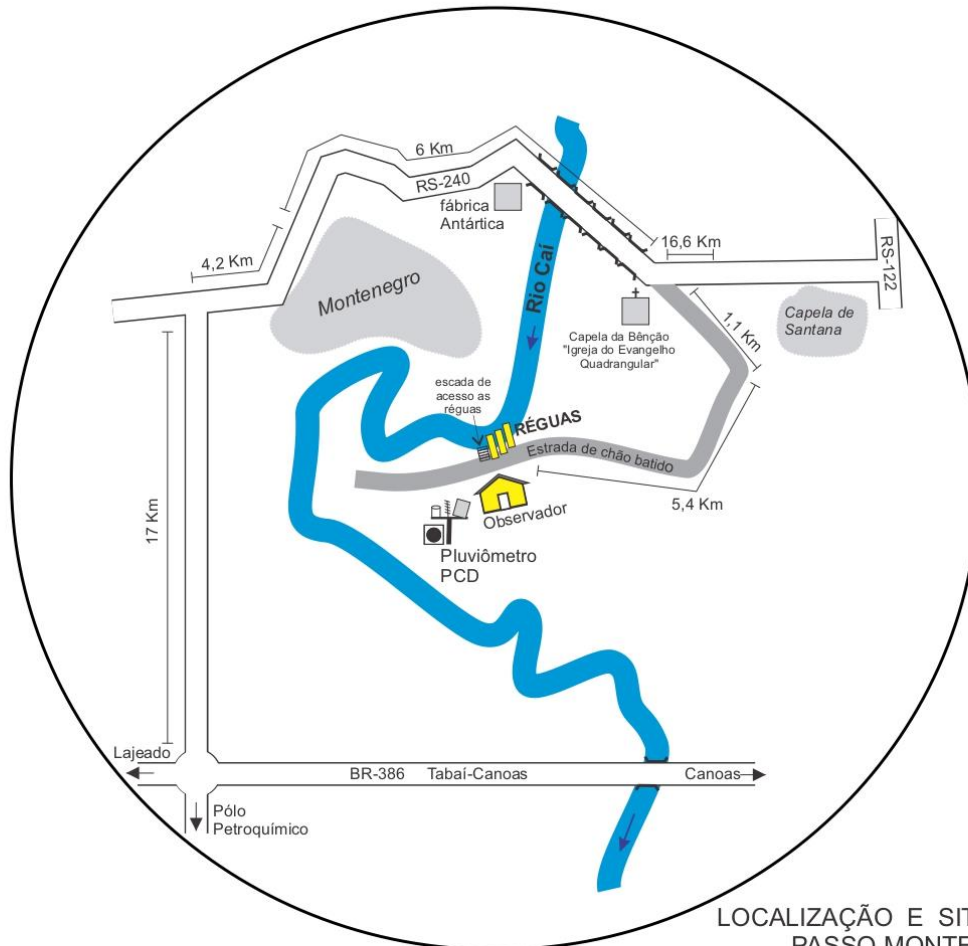
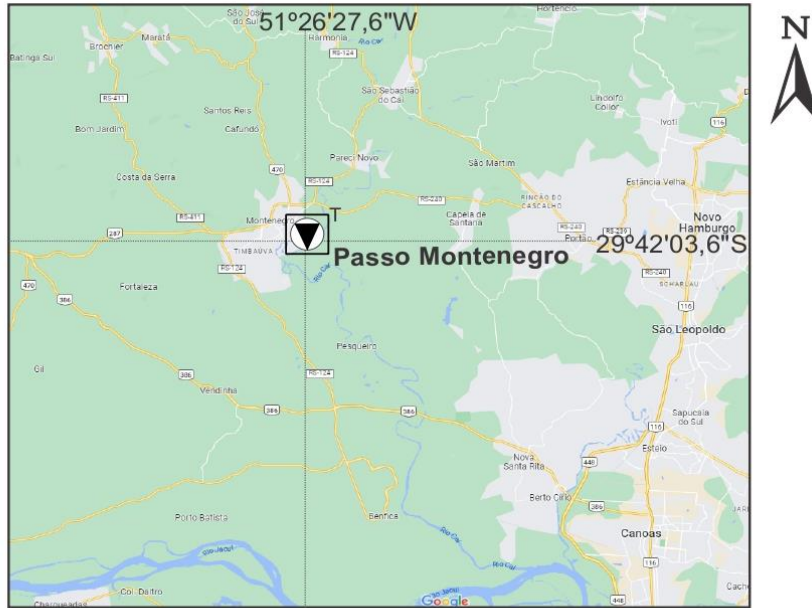
Bateria (26 Ah);

Sensor de nível de pressão Keller 46x;

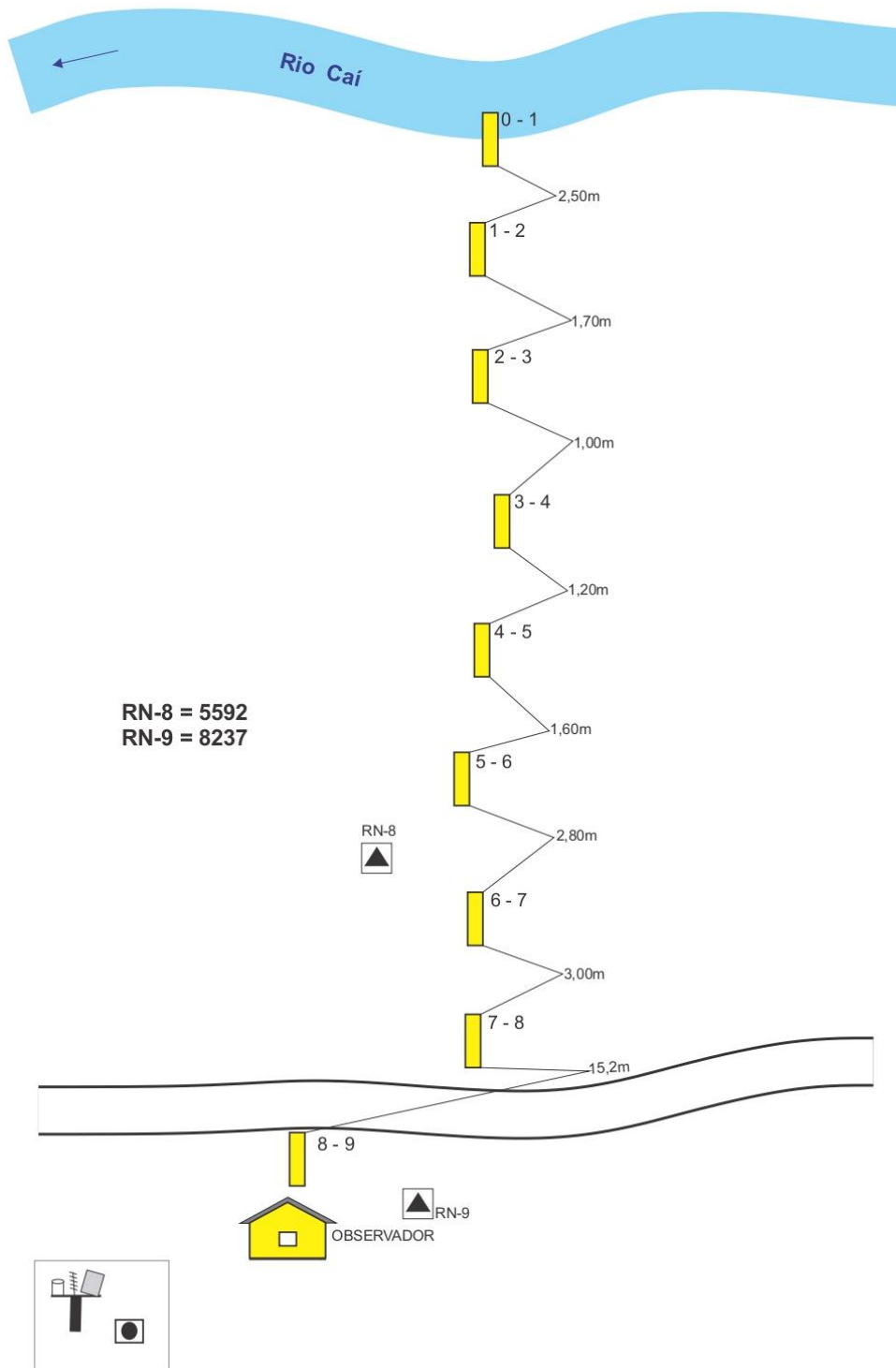
Pluviômetro: HIDROMETRIA padrão OTT

Cabo de comunicação USB A-B;

Número de patrimônio CPRM: 8566.5222



LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO  
PASSO MONTENEGRO  
CÓDIGO:87270000  
20/09/2021



RIO CAÍ EM PASSO MONTENEGRO

ANEXO II  
Distribuição de Gumbel, Log-Normal e Normal.



## 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

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

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

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

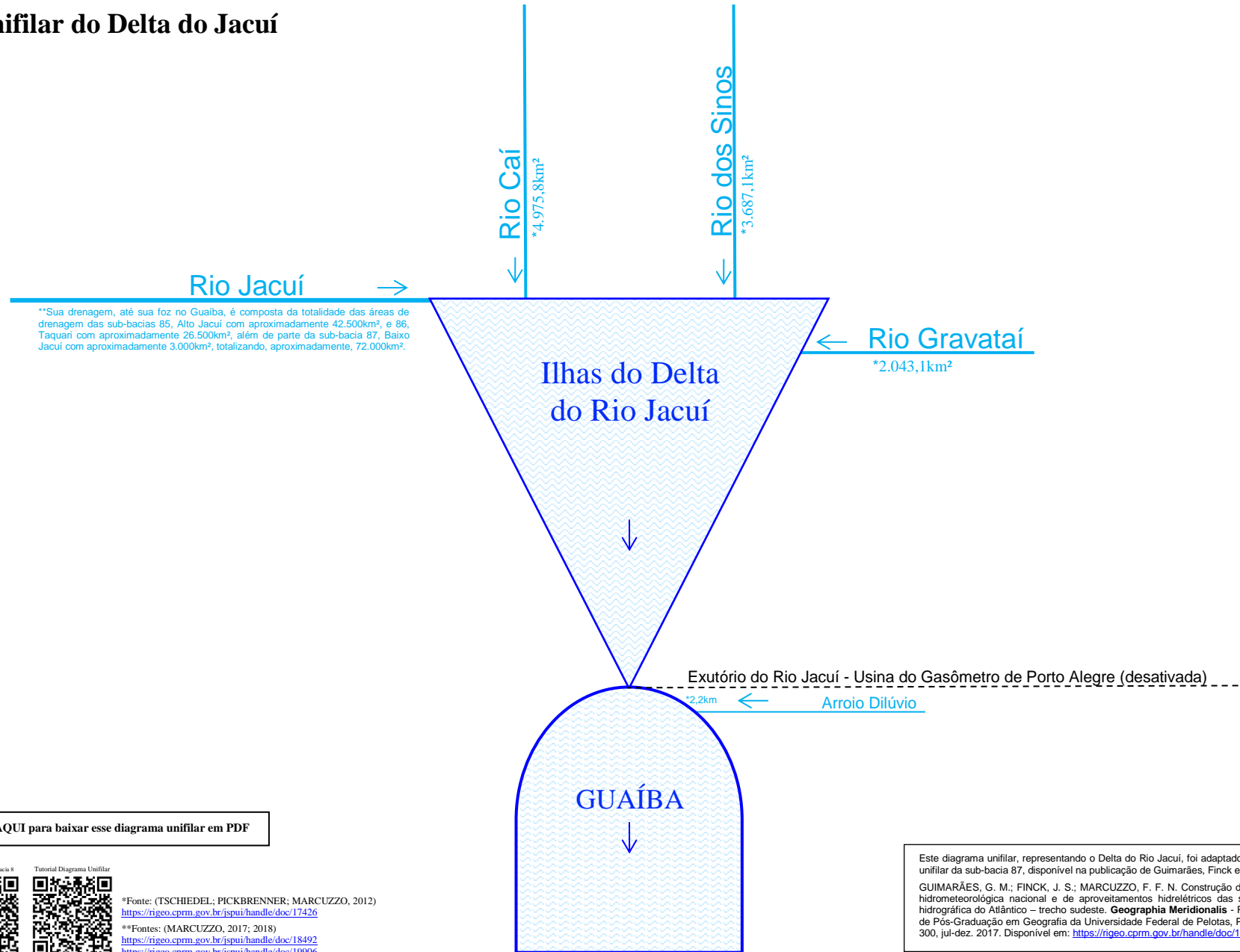
Observação: Inicialmente os dados são transformados pelo logaritmo natural,  $Ln(x)$ . Em seguida são calculados os momentos-L e depois os parâmetros.

Fonte: Hosking e Wallis (1997).

### ANEXO III

Diagrama Unifilar do Delta do Jacuí, Imagens de Satélite da Localização, Delimitação da Bacia e das Áreas de Drenagem das Estações, Imagens de Satélite da Transposição de Águas da Bacia do Rio Caí Para a Bacia do Rio Paranhana e Seu Diagrama Unifilar

# Diagrama Unifilar do Delta do Jacuí



Clique AQUI para baixar esse diagrama unifilar em PDF



\*Fonte: (TSCHIEDEL; PICKBRENNER; MARCUZZO, 2012)  
<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17426>

\*\*Fontes: (MARCUIZZO, 2017; 2018)  
<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18492>  
<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19906>

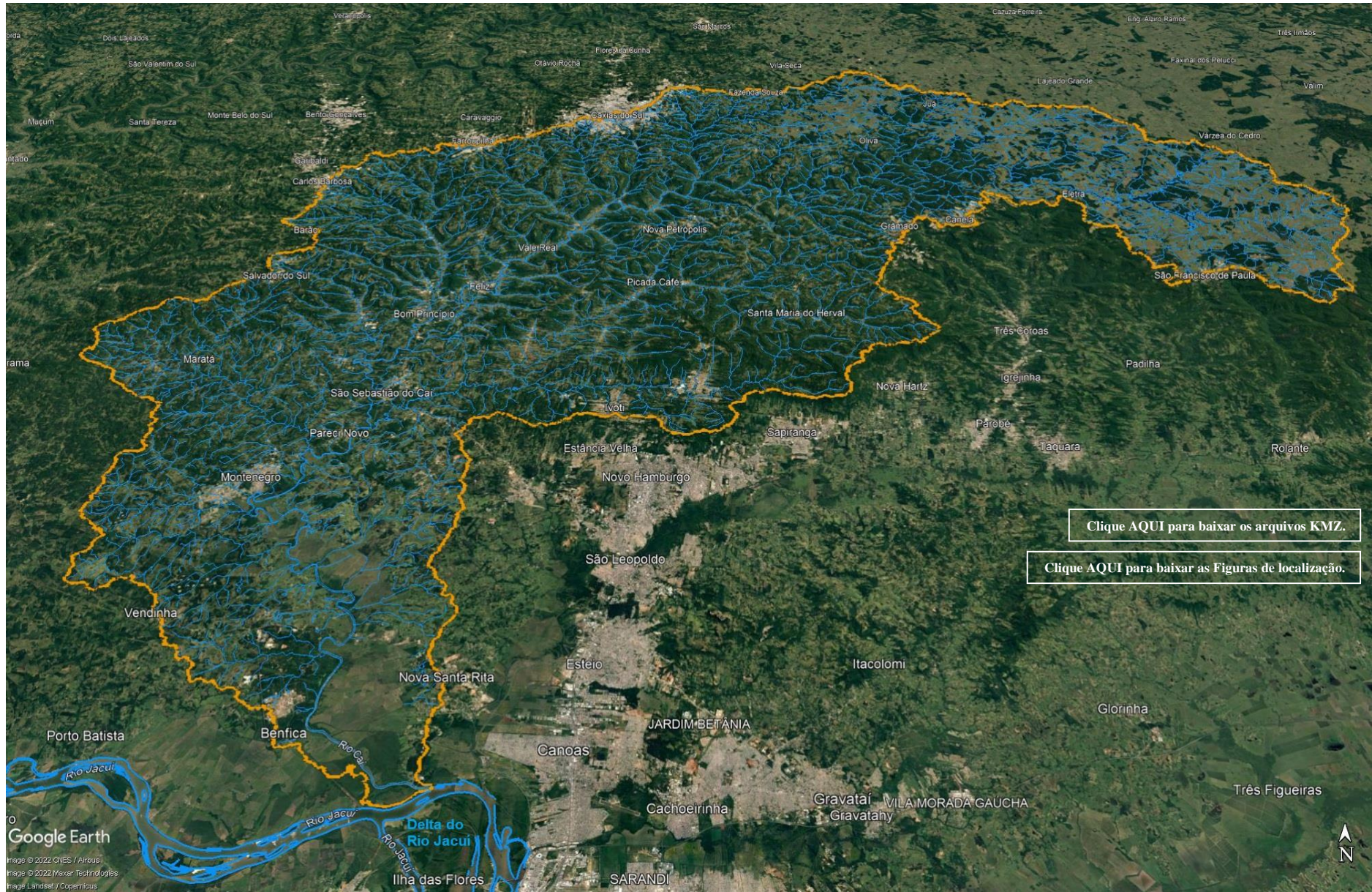


Este diagrama unifilar, representando o Delta do Rio Jacuí, foi adaptado da parte 4 de 16 do diagrama unifilar da sub-bacia 87, disponível na publicação de Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017):  
 GUIMARÃES, G. M.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Construção de diagramas unifilares da rede hidrometeorológica nacional e de aproveitamentos hidrelétricos das sub-bacias 85 a 88, na bacia hidrográfica do Atlântico – trecho sudeste. *Geographia Meridionalis* - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, v. 03, n. 3, p. 276–300, jul-dez. 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18953>. Acesso em: 29 jul. 2022.

## Imagens de Satélite da Localização, Delimitação da Bacia e das Áreas de Drenagem das Estações

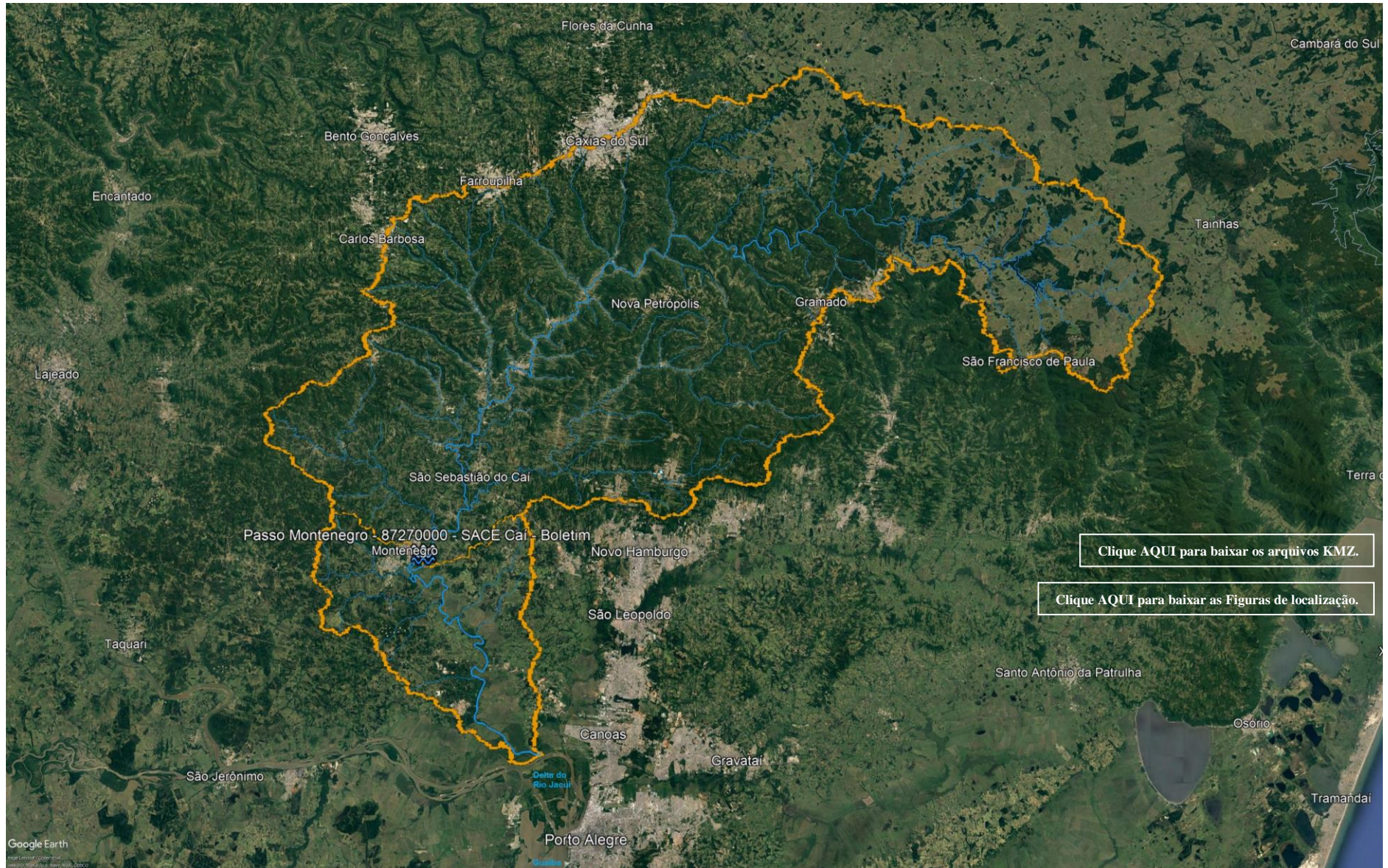


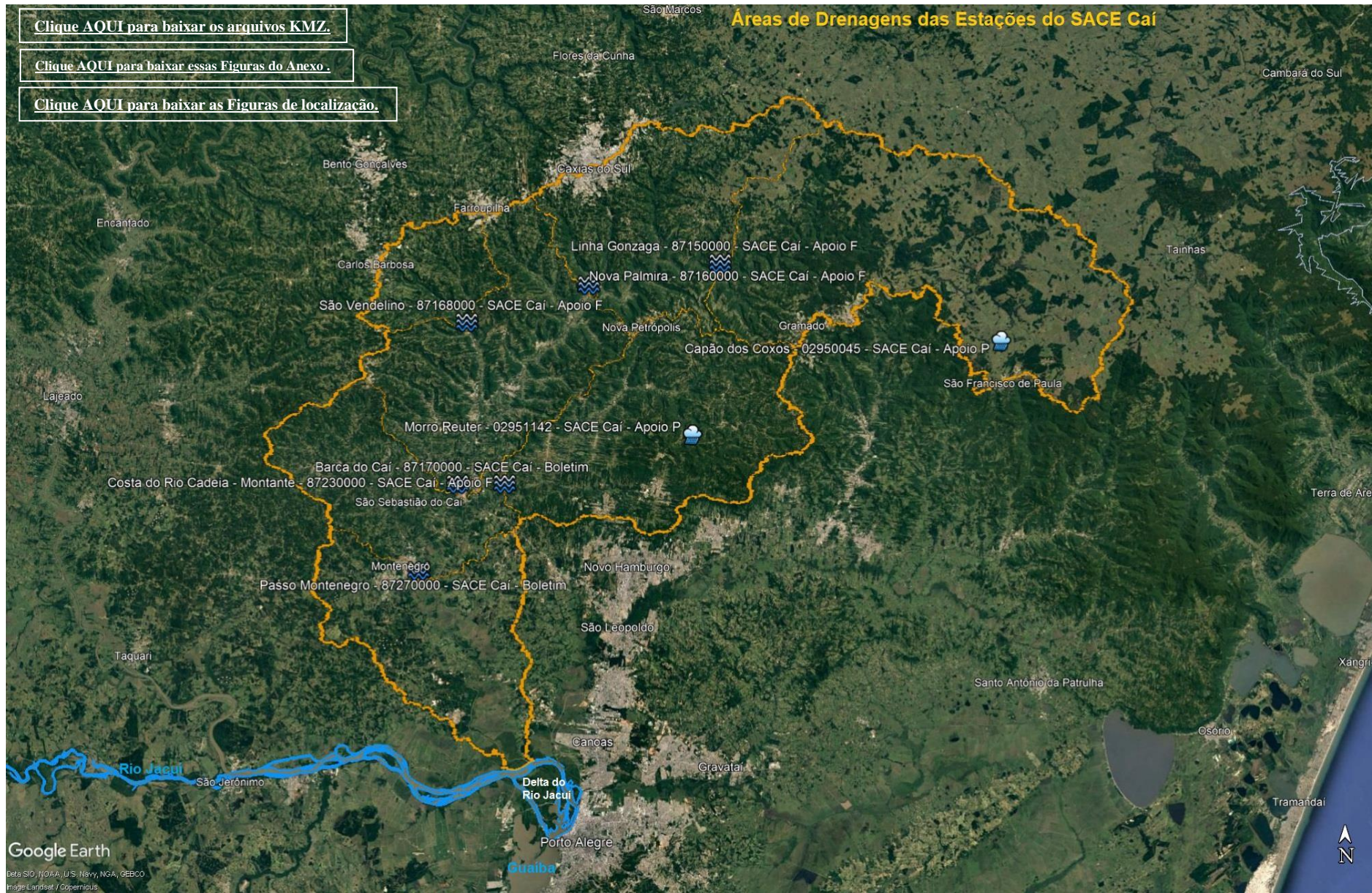


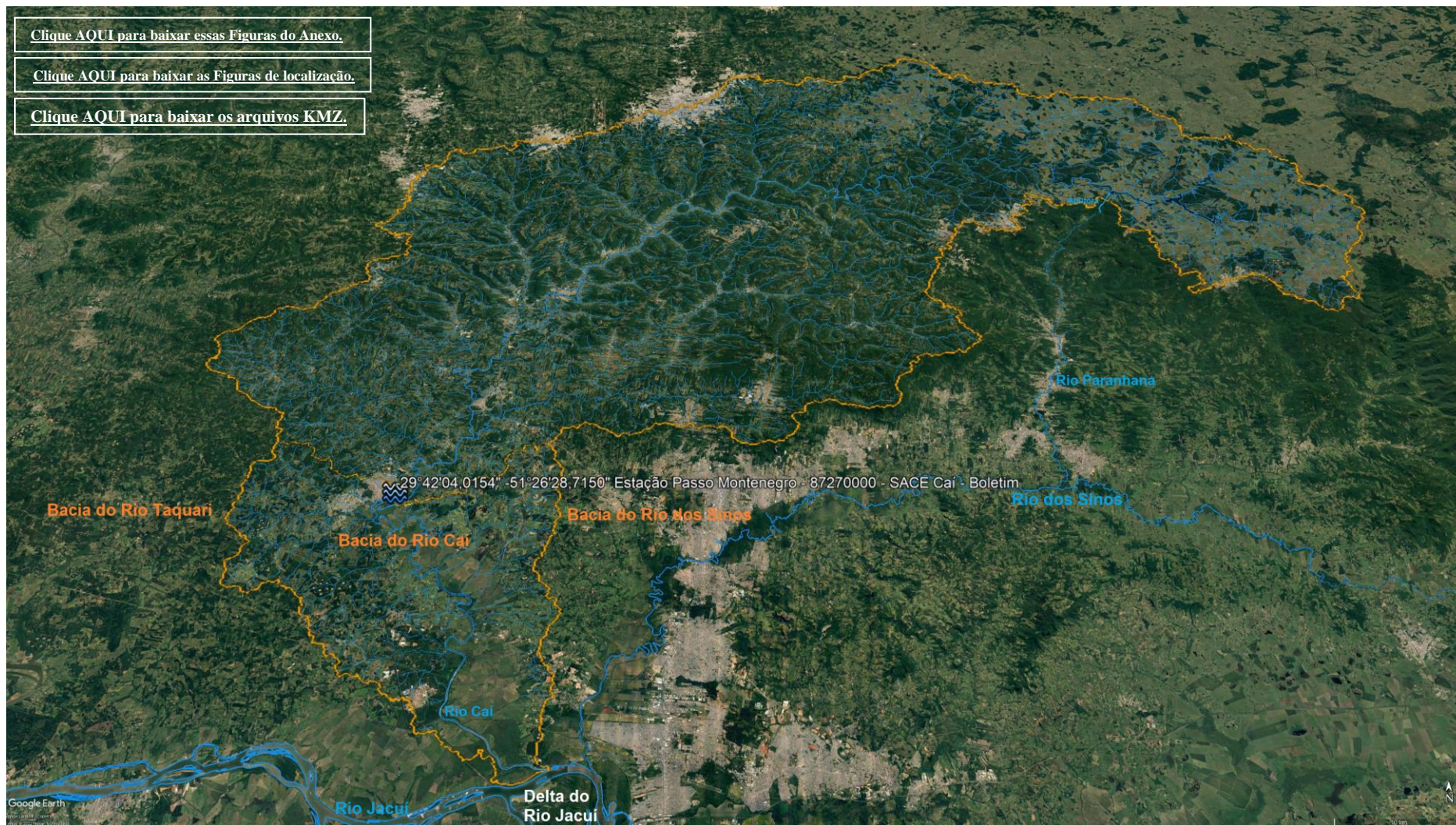




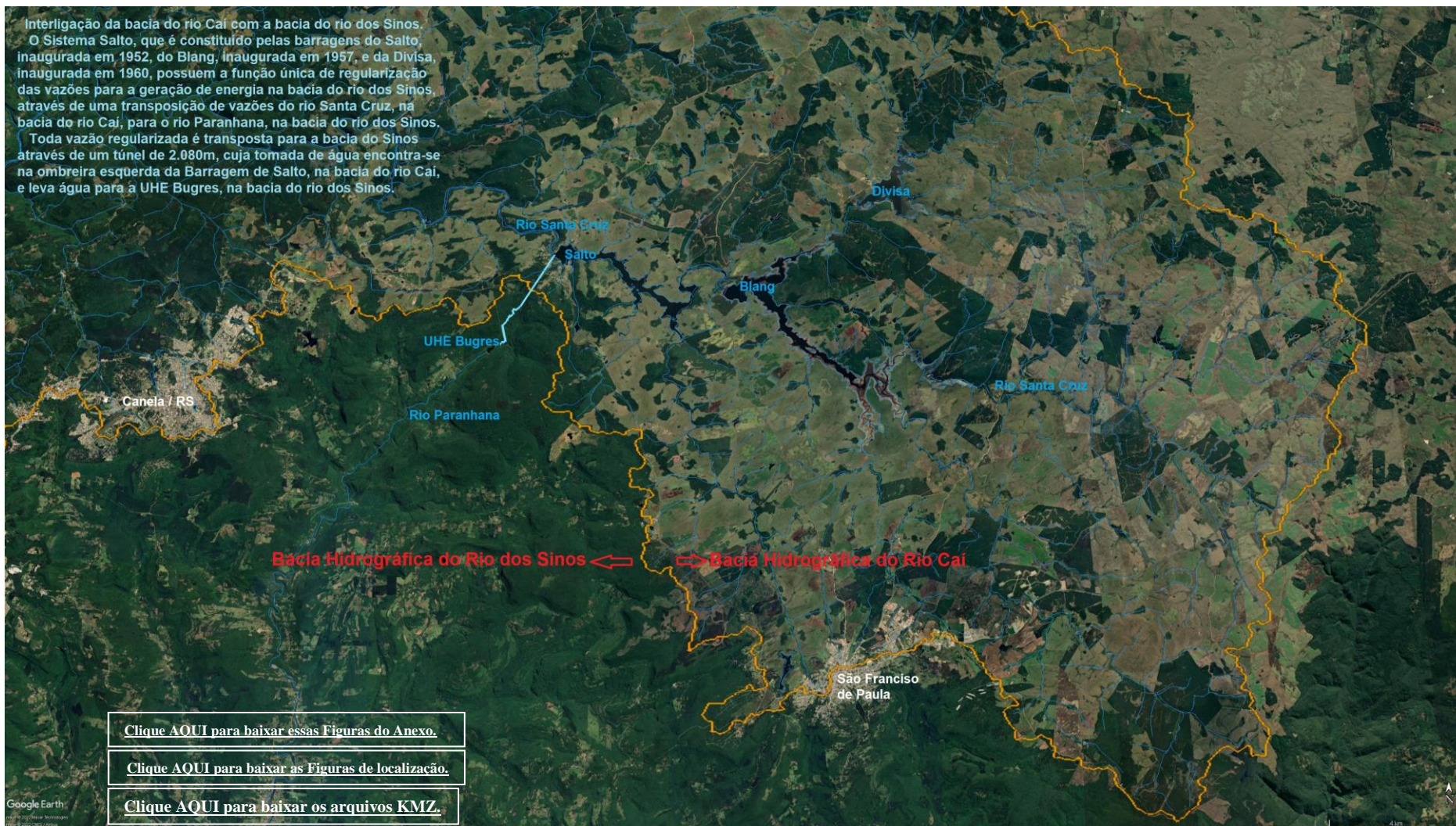


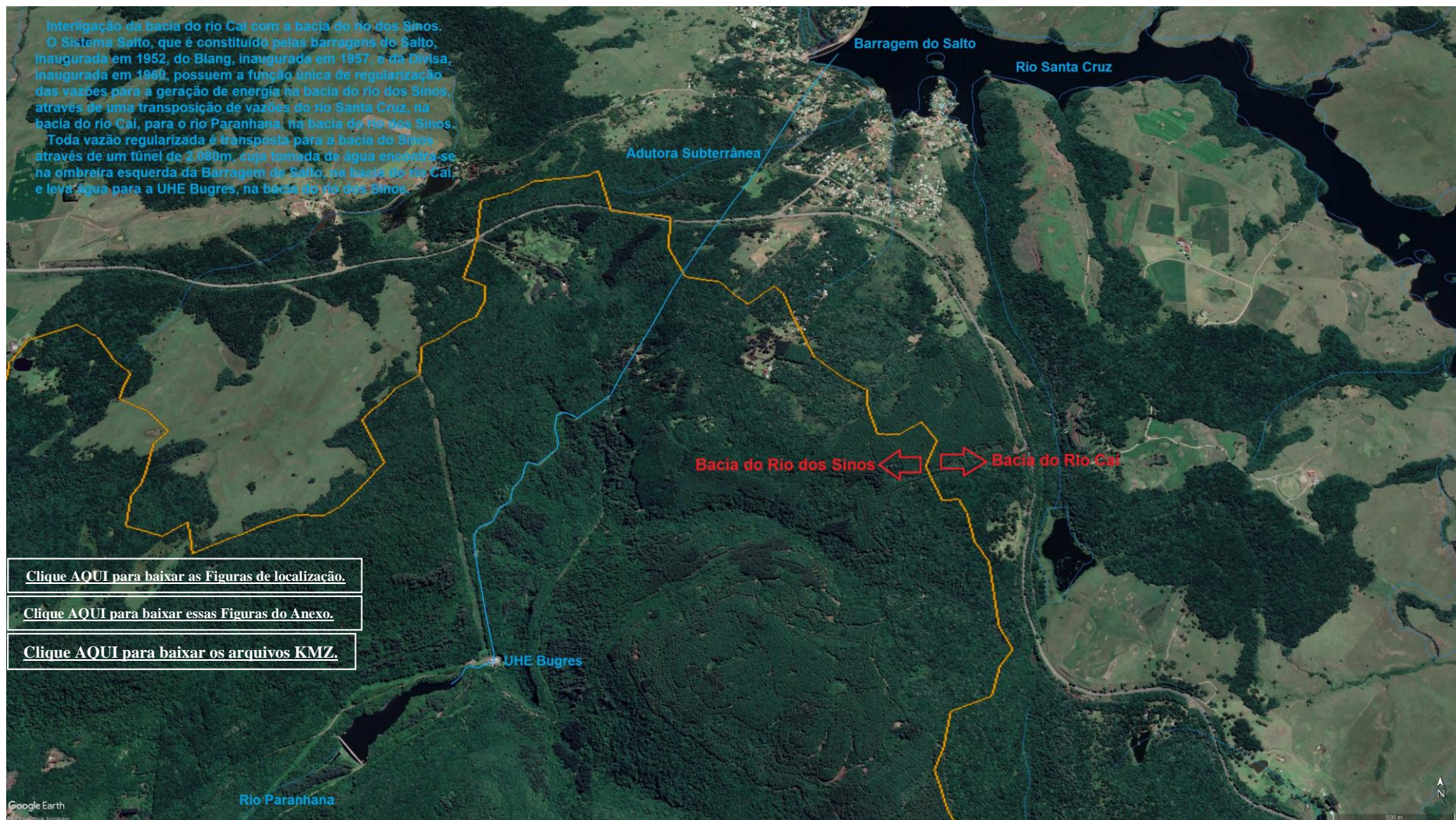






Interligação da bacia do rio Cai com a bacia do rio dos Sinos.  
O Sistema Salto, que é constituído pelas barragens do Salto, inaugurada em 1952, do Blang, inaugurada em 1957, e da Divisa, inaugurada em 1960, possuem a função única de regularização das vazões para a geração de energia na bacia do rio dos Sinos, através de uma transposição de vazões do rio Santa Cruz, na bacia do rio Cai, para o rio Paranhana, na bacia do rio dos Sinos. Toda vazão regularizada é transposta para a bacia do Sinos através de um túnel de 2.080m, cuja tomada de água encontra-se na ombreira esquerda da Barragem de Salto, na bacia do rio Cai, e leva água para a UHE Bugres, na bacia do rio dos Sinos.



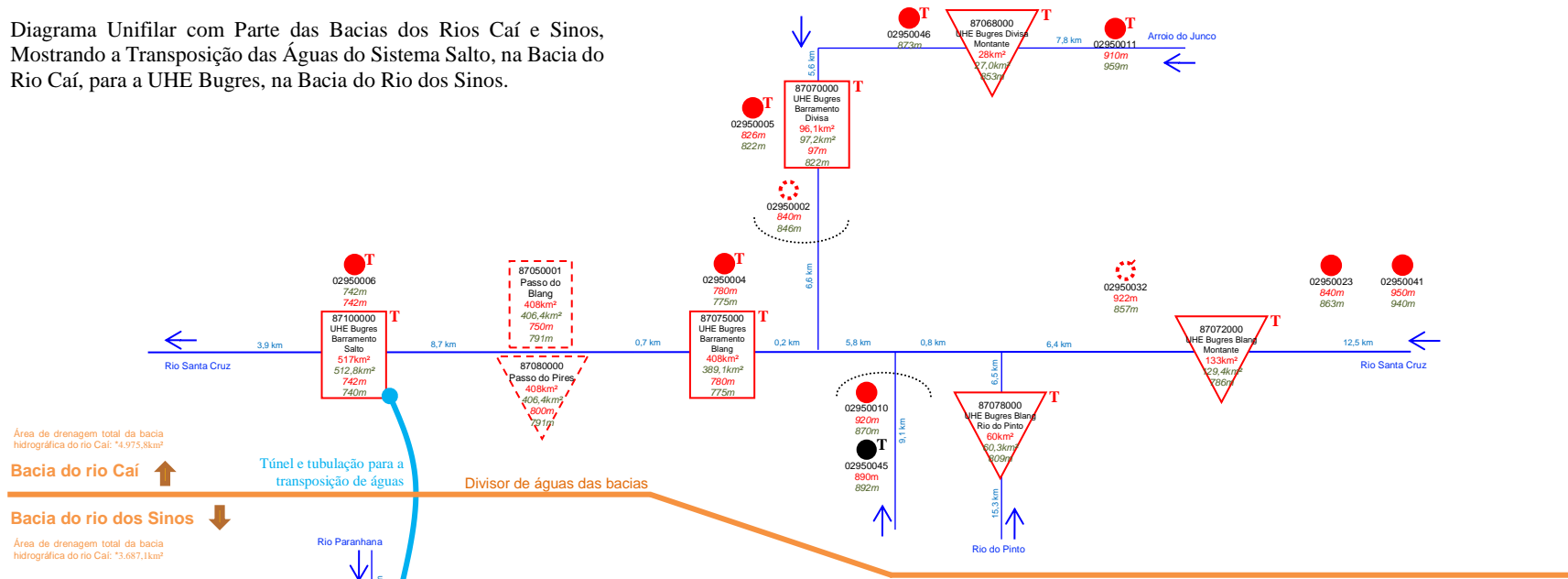


[Clique AQUI para baixar as Figuras de localização.](#)

[Clique AQUI para baixar essas Figuras do Anexo.](#)

[Clique AQUI para baixar os arquivos KMZ.](#)

Diagrama Unifilar com Parte das Bacias dos Rios Caí e Sinos, Mostrando a Transposição das Águas do Sistema Salto, na Bacia do Rio Caí, para a UHE Bugres, na Bacia do Rio dos Sinos.



Área de drenagem total da bacia hidrográfica do rio Caí: \*4.975,8km²

Bacia do rio Caí ↑

Bacia do rio dos Sinos ↓

Área de drenagem total da bacia hidrográfica do rio Caí: \*3.687,1km²

Interligação da bacia do rio Caí com a bacia do rio dos Sinos.

O Sistema Salto, que é constituído pelas barragens do Salto, inaugurada em 1952, do Blang, inaugurada em 1957, e da Divisa, inaugurada em 1960, possuem a função única de regularização das vazões para a geração de energia na bacia do rio dos Sinos, através de uma transposição de vazões do rio Santa Cruz, na bacia do rio Caí, para o rio Paranhana, na bacia do rio dos Sinos.

Toda vazão regularizada é transportada para a bacia do Sinos através de um túnel de 2.080m, cuja tomada de água encontra-se na ombreira esquerda da Barragem de Salto, na bacia do rio Caí na área territorial do município de São Francisco de Paula, e leva água para a UHE Bugres, na bacia do rio dos Sinos na área territorial do município de Canela.

\*Fonte: (TSCHIEDEL; PICKBRENNER; MARCUZZO, 2012) <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17426>

\*\*Fontes: (MARCUIZZO, 2017; 2018) <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18492> <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19006>

Neste diagrama unifilar, utilizaram-se os seguintes valores de paralelos e meridianos para calcular as áreas de drenagem na sub-bacia 87:  
Meridiano Central: -51,956  
1° Paralelo: -29,603  
2° Paralelo: -31,68  
Latitude de Origem: -57,571667

Fontes: Inventário da ANA de 20/01/2017; Inventário da ANEEL (SIGEL) baixado em 02/01/2017; MDE SRTM 30m (EARTH EXPLORER, 2014).

O barramento do Salto, segundo os dados deste diagrama unifilar, possui uma área de drenagem aproximada de 513km² (SRTM30), o que corresponde a aproximadamente 10,3% da área total da bacia do rio Caí. A área de drenagem de toda bacia do rio Jacuí, a partir da sua foz no Guaíba, é de aproximadamente \*\*72.000km², ou seja, a bacia do rio Caí, com aproximadamente \*4.975km², responde por aproximadamente 6,9% da bacia do rio Jacuí. Já a bacia do rio dos Sinos, com aproximadamente \*3.687km², responde por aproximadamente 5,1% da bacia do rio Jacuí.



Este diagrama unifilar, representando a interligação das bacias dos rios Caí e Sinos, foi adaptado da parte 12 de 16 do diagrama unifilar da sub-bacia 87, disponível na publicação de Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017): GUIMARÃES, G. M.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Construção de diagramas unifilares da rede hidrometeorológica nacional e de aproveitamentos hidrelétricos das sub-bacias 85 a 88, na bacia hidrográfica do Atlântico – trecho sudeste. **Geographia Meridionalis** - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, v. 03, n. 3, p. 276–300, jul-dez. 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18953>. Acesso em: 19 ago. 2022.

**Legenda diagramas unifilares de hidrologia:**

	Estação Fluviométrica com Medição de Descarga (FD)		Representação da Área de Drenagem
	Estação Fluviométrica Linimétrica (F)		
	Estação Fluviométrica		
	Estação Pluviométrica		
	Estação Pluviográfica		
	Em Operação pela CPRM		<b>Área de Drenagem (km²) e Altitude (m) da ANA e ANEEL</b>
	Em Operação por Outra Entidade		
	Desativada / Extinta		
	Telemétrica		
	Linigráfica (r)		

Distância (km) Aproximada Seguindo a Drenagem Formada Pelo SRTM 30m Entre Nascente e Afluente(s), Entre Afluentes, Entre Estações da Rede Hidrometeorológica, Entre Barramentos, etc.

\* Duvidoso. Coordenada geográfica não confirmada pela



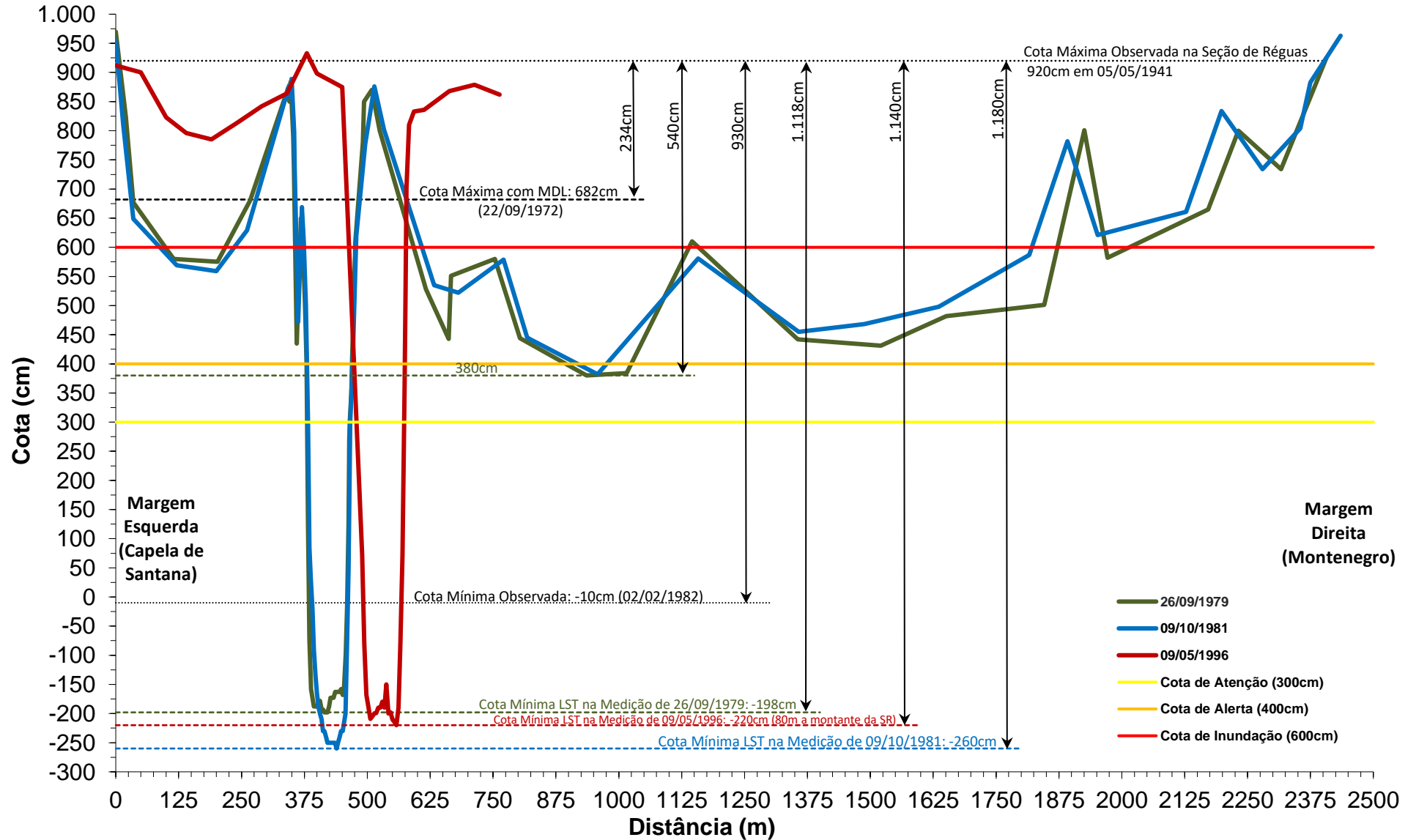
## ANEXO IV

Levantamentos de Seção Transversal – Seção de Réguas e Seção de Medição

## ANEXO IV

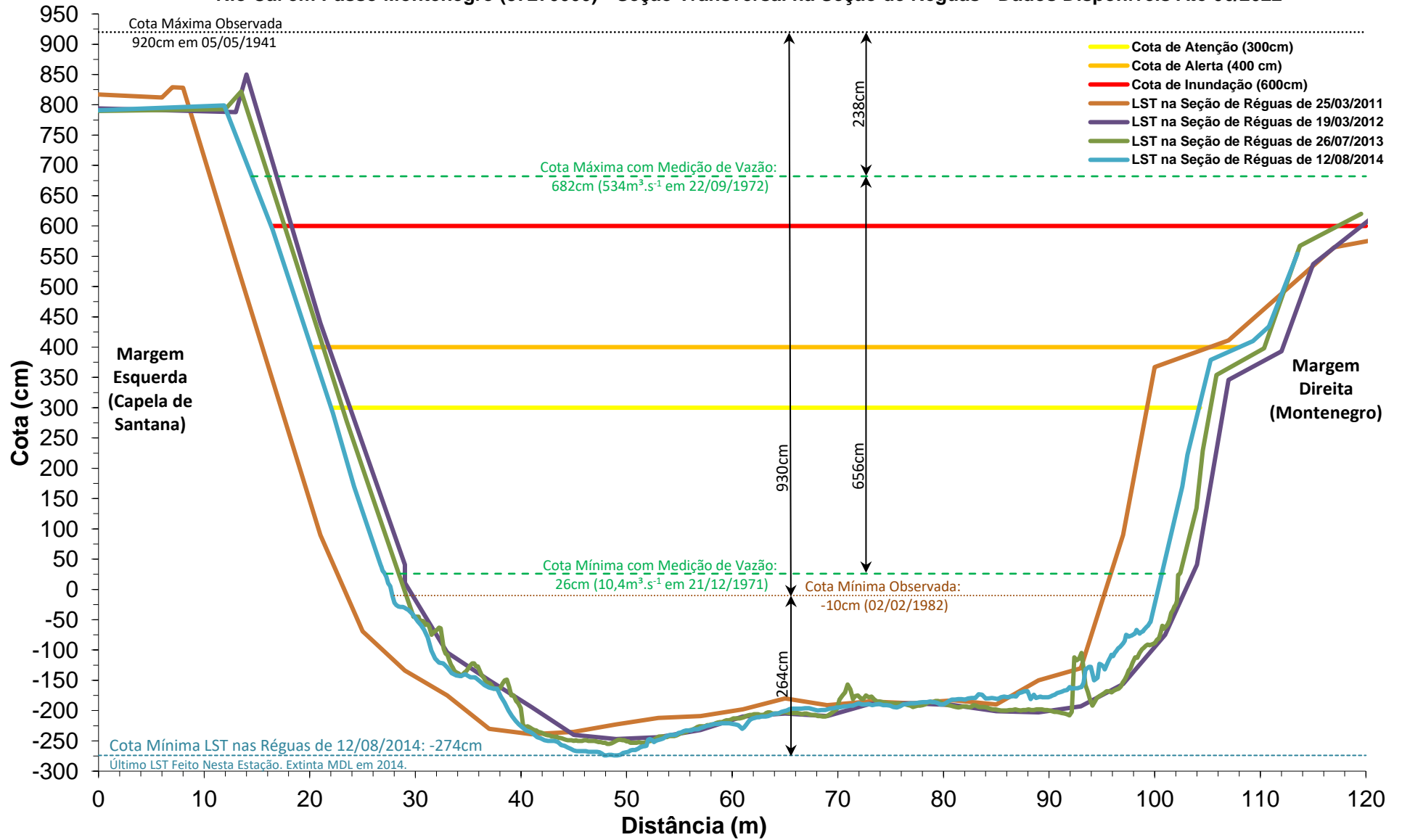
Levantamentos de Seção Transversal – Disponíveis em Junho de 2022 – Seção de Réguas e Seção de Medição

**Rio Cai em Passo Montenegro (87270000) - Seção Transversal em Seções de Medição - Dados Disponíveis Até 06/2022**

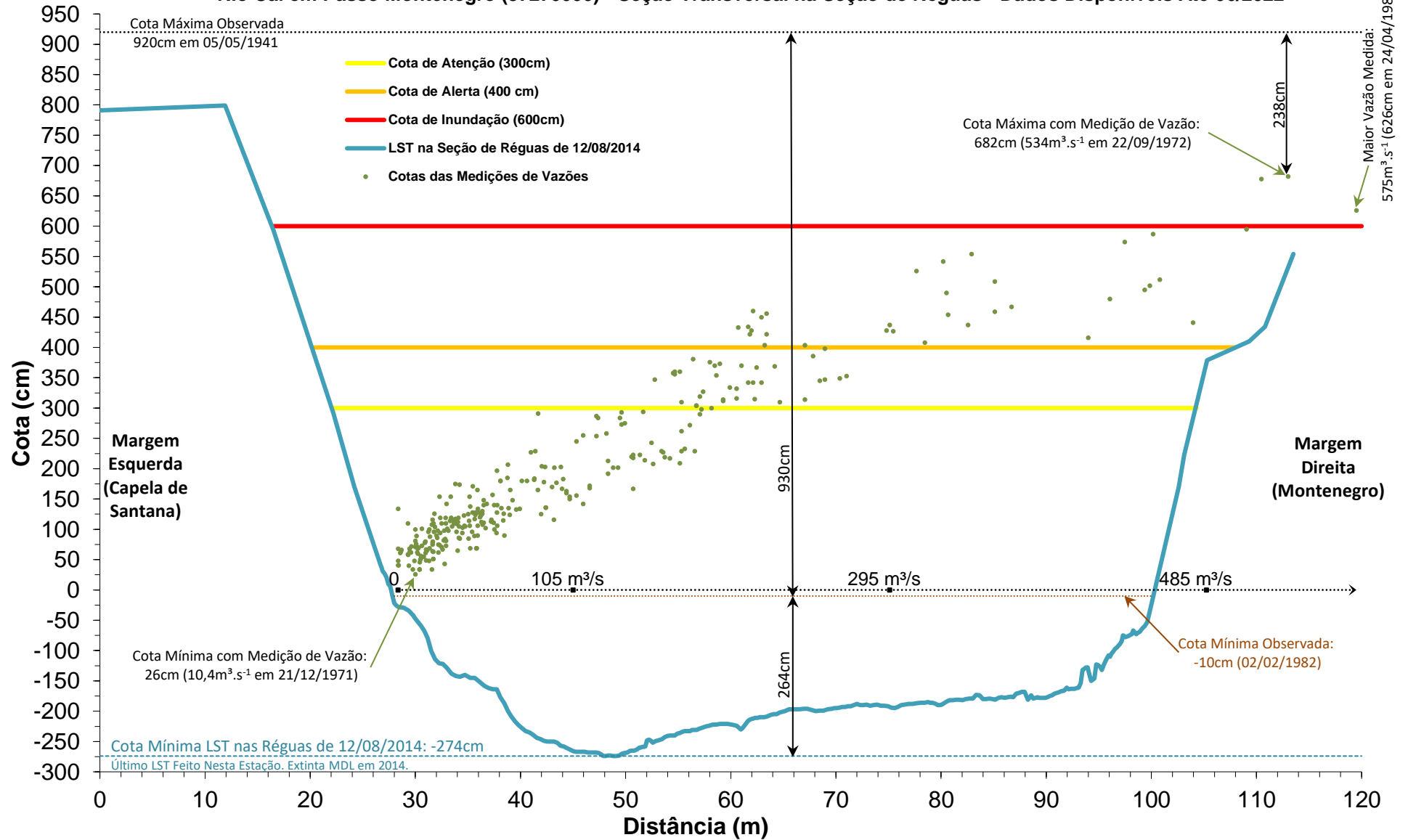




**Rio Caí em Passo Montenegro (87270000) - Seção Transversal na Seção de Réguas - Dados Disponíveis Até 06/2022**



**Rio Caí em Passo Montenegro (87270000) - Seção Transversal na Seção de Réguas - Dados Disponíveis Até 06/2022**



ANEXO V  
Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)  
Estatística da Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)

## ANEXO V

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

Máximos por ano civil (01/Jan a 31/Dez) devido a boa uniformidade de distribuição de volume de precipitação pluviométrica no decorrer dos meses do ano (SIMON, PICKBRENNER, MARCUZZO, 2013; MARCUZZO, SIMON, 2016). Parte dos dados abaixo foram recuperados por meio do trabalho projetado e executado por Naitzel, Goldenfum e Marcuzzo (2020).

A cor de preenchimento da coluna “Cota (cm)”, do quadro abaixo, representa se o nível do rio, em sua máxima anual do banco dupla leitura, atingiu ou ultrapassou a cota de 300 cm que é a de atenção (amarelo!), ou a cota de 400 cm que é a de alerta (laranja!) ou a cota de 600 cm que é a de inundação (vermelho!), segundo os dados disponíveis no SACE ([https://www.cprm.gov.br/sace/index\\_bacias\\_monitoradas.php](https://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php)) do Serviço Geológico do Brasil em julho de 2022, para a estação Passo Montenegro (87270000) na bacia do rio Caí.

Nº	Data do Registro	<sup>1</sup> Cota (cm)	Observações
1	17/07/1940	696	Ano completo (série de dados anuais sem falhas). <i>Verificado com apoios.</i>
2	05/05/1941	920	Ano completo. <b>Maior cheia da série histórica Dupla Leitura, as 17h00.</b> <i>Verificado com boletim.</i> Coincide com a data da maior cheia histórica registrada em Porto Alegre, em 05/05/1941. Influência do nível da água no Delta do Jacuí (Anexo III).
3	19/05/1942	838	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
4	05/07/1943	574	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
5	25/06/1944	800	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
6	02/08/1945	692	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
7	27/01/1946	620	<sup>2</sup> Ano incompleto (série de dados anuais apresentando alguma falha). <i>Verificado mês 06 com apoios. Verificado com apoios.</i>
8	01/10/1947	665	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
9	24/07/1948	535	Ano incompleto. <i>Verificado mês 08 com apoios. Verificado com apoios.</i>
10	17/07/1949	670	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
11	17/10/1950	550	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
12	20/10/1951	630	Ano incompleto. <i>Verificado mês 10 com apoios. Verificado com apoios e o boletim.</i>
13	29/06/1952	476	Ano incompleto. No ano de 1952 obteve-se a cota de 476 cm, em 29/06/1952. <i>Verificado mês 07 com apoios. Verificado com apoios e o boletim. Essa cota foi terceira descartada como limite inferior pelo teste de GRUBBS e BECK. A primeira foi de 392 cm de 1962 e a segunda foi de 436 cm de 2004.</i>
14	03/10/1953	724	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
15	22/07/1954	800	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i> Adicionou-se 0,01cm por ser duplicado com 1944.
16	22/04/1955	690	Ano incompleto. <i>Verificado com apoios.</i> <i>Verificado meses 05 e 09 com apoios.</i>

Nº	Data do Registro	<sup>1</sup> Cota (cm)	Observações
17	05/04/1956	820	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
18	09/09/1957	710	Ano incompleto. Verificado meses 07 e 08 com apoios. <b>Verificado.</b>
19	12/06/1958	550	Ano incompleto. Verificado mês 02 com apoios. Adicionou-se 0,01 cm por ser duplicado com 1950. <b>Verificado com apoios.</b>
20	23/06/1959	780	Ano incompleto. Verificado mês 11 com apoios. A cota de 780 cm foi atingida em 23/06/1959 e 30/08/1959. <b>Verificado.</b>
21	02/09/1960	604	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
22	06/09/1961	780	Ano incompleto. Verificado meses 10 e 11 com apoios. Ano de 1961 foi digitado pelo digitador. Adicionou-se 0,01 por ser duplicado. <b>Verificado com apoios.</b>
23	01/01/1962	392	Ano completo. Menor cota das máximas anuais da série histórica dupla leitura. <b>Verificado com apoios. Essa cota foi a primeira descartada como limite inferior pelo teste de GRUBBS e BECK.</b>
24	12/10/1963	770	Ano incompleto. Verificado mês 12 com apoios. <b>Verificado com apoios.</b>
25	03/09/1964	635	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
26	21/08/1965	832	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
27	21/12/1966	742	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
28	21/09/1967	832	Ano completo. Adicionou-se 0,01 cm por ser duplicado com 1965. <b>Verificado com apoios.</b>
29	07/11/1968	526	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
30	20/02/1969	730	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
31	07/06/1970	692	Ano completo. Adicionou-se 0,01 cm por ser duplicado com 1945. <b>Verificado com apoios.</b>
32	17/03/1971	750	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
33	21/09/1972	740	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
34	20/09/1973	745	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
35	10/08/1976	685	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
36	07/12/1978	627	Ano incompleto. Verificado mês 01 com apoios. <b>Verificado com apoios.</b> 1980 verificado os meses de 01 a 08 com apoios. 752 cm de 04/12/1980, apenas considerando 3 meses, de 09 a 12/1980. O ano de 1980 foi descartado. <b>Verificado com apoios e o boletim.</b>
37	29/06/1982	852	Ano incompleto. Verificado mês 01 de 1982. <b>Verificado com apoios.</b>
38	20/06/1984	813	Ano incompleto. Verificado meses 07 e 09 e 12 com apoios. <b>Verificado com apoios.</b>
39	26/12/1985	748	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
40	14/08/1987	790	Ano completo. <b>Verificado com apoios.</b>
41	06/07/1989	695	Ano incompleto. Verificado mês 12 com apoios. <b>Verificado boletim do mês 12 com um dado horário faltante e com apoios.</b>
42	22/06/1990	704	Ano incompleto. 704 cm de 22/06/1990 pode não ser a máxima cota anual pois o mês de outubro, com apoios, pode ter ocorrido cota maior. Verificado 1990 com meses 02 e de 10 a 12 com apoios. <b>Verificado com apoios.</b>
43	28/12/1991	635	Ano incompleto. Adicionado 0,01 cm por ser duplicado com 1964. Verificado meses 01 e 12. <b>Verificado com apoios e boletim. Mês 12 com a máxima anual.</b>
44	07/07/1992	745	Ano completo. Adicionou-se 0,01 cm por ser duplicado com 1973. <b>Verificado com apoios.</b>

Nº	Data do Registro	<sup>1</sup> Cota (cm)	Observações
45	12/07/1993	738	Ano incompleto. Verificado mês 06 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i>
46	20/06/1994	688	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
47	21/07/1995	714	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
48	16/10/1996	673	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
49	05/08/1997	804	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
50	17/08/1998	720	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
51	16/10/1999	628	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
52	14/10/2000	824	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
53	22/07/2001	800	Ano completo. Adicionou-se 0,02 cm por ser duplicado com 1944 e 1954. <i>Verificado com apoios.</i>
54	14/06/2002	770	Ano completo. Adicionou-se 0,01 cm por ser duplicado com 1963. <i>Verificado com apoios.</i>
55	10/07/2003	805	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
56	18/10/2004	436	Ano incompleto. Verificado meses 05 e 06 e 10 com apoios. <i>Verificado com apoios. Essa cota foi a segunda descartada como limite inferior pelo teste de GRUBBS e BECK. A primeira foi a de 1962, com 392 cm.</i>
57	16/10/2005	766	Ano incompleto. Verificado meses 02 e 04 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i>
58	29/07/2006	580	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
59	25/09/2007	870	Ano completo. <b><u>Segunda maior cheia histórica anual registrada.</u></b> <i>Verificado com apoios.</i>
60	27/10/2008	760	Ano incompleto. Verificado mês 03 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i>
61	28/09/2009	854	Ano incompleto. Verificado meses 08 e 10 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i>
62	23/07/2010	646	Ano incompleto. Verificado mês 01 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i>
63	22/07/2011	856	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
64	20/09/2012	764	Ano incompleto. Verificado mês 01 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i>
65	26/08/2013	854	Ano completo. Adicionou-se 0,01 cm por ser duplicado com 2009.
66	20/10/2014	632	Ano completo. <i>Verificado com apoios.</i>
67	10/10/2015	812	Ano incompleto. Verificado meses 04 e 11 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i>
68	19/10/2016	<sup>3</sup> 840	Ano incompleto. Verificado mês 01 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i>
69	28/05/2017	776	Ano incompleto. Verificado meses 04 e 05 e 08 e 09 e 11 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i>
70	05/09/2018	692	Ano incompleto. Adicionou-se 0,02 cm por ser duplicado com 1945 e 1970. Verificado meses 03 e 04 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i> No hidrotelemetria obteve-se 681 cm as 06h15 do mesmo dia.
71	06/11/2019	738	Ano completo. Adicionou-se 0,01 cm por ser duplicado com 1993. <i>Verificado com apoios.</i> No hidrotelemetria obteve-se 735 cm as 18h15 do mesmo dia.
72	09/07/2020	811	Ano incompleto. Verificado mês 02 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i> No hidrotelemetria obteve-se 818 cm as 13h00 do mesmo dia.
73	28/06/2021	592	Ano incompleto. Verificado mês 06 com apoios. <i>Verificado com apoios.</i> No hidrotelemetria obteve-se 578 cm as 8h30min do mesmo dia.

<sup>1</sup> DL – Dupla Leitura (07h00 e 17h00) – Horário de Brasília.

<sup>2</sup> Anos com dados de DL incompletos. Faltaram dados de cotas dupla leitura em algum momento da série histórica do ano em questão. Valor da máxima anual validado ou não utilizando análise de gráfico de cotas com o apoio das estações Barca do Caí – 87170000, Nova Palmira – 87160000, São Vendelino – 87168000 e Linha Gonzaga - 87150000.

<sup>3</sup> Evento extremo de 2016 relatado no trabalho de Pickbrenner *et al.* (2017), sobre a cheia na bacia do rio Caí em outubro de 2016, quando um evento de chuva intensa, ocorrido entre 15 e 22 de outubro de 2016, atingiu a bacia. Os autores relatam que, em apenas quatro dias, os acumulados de chuva atingiram quase 300mm e inundações severas se manifestaram nos municípios de São Sebastião do Caí/RS e Montenegro/RS. Mapeamentos e explicações sobre cotas de inundação severa podem ser melhor analisados em Alves, Sotério e Dias (2021).

Ano de 2022: Foi registrado 611 cm em 24/06/2022 as 08h45min. Foi a maior cota horária registrada em 2022 até o dia 08/07/2022, em Passo Montenegro (87270000), segundo os dados do hidrotelemetria (<https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx#>).

Totalizou-se 73 anos de dados incompletos DL de 12/1939 a 12/2021. Entretanto, devido ao teste de limites inferiores de Grubbs e Beck, deletou-se os anos de 1962 (392 cm), 2004 (436 cm) e 1952 (476 cm), cujos limites inferiores do teste de Grubbs e Beck, eram respectivamente com esses dados: 438 cm, 461 cm e 480 cm. Após excluir estes três dados o limite inferior do teste de Grubbs e Beck ficou em 496,18 cm, abaixo da menor máxima anual considerável, que foi de 526 cm em 07/11/1968.

Não são realizadas medição de descarga líquida desde 2014 pois a estação está sujeita a processo de remanso em razão dos níveis do rio Jacuí e Guaíba a aproximadamente 45 km à jusante.

## ANEXO V

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

Vídeos na INTERNET registrando cheias na bacia do rio Caí, entre os municípios de Capela de Santana/RS e Montenegro/RS.

1. Confira cobertura completa de imagens em todos os bairros atingidos pela enchente em Montenegro RS. [https://www.youtube.com/watch?v=Hxv8\\_toVRR8](https://www.youtube.com/watch?v=Hxv8_toVRR8)

2. Imagens aéreas da enchente em Montenegro – em boa definição – Montenegro FM. [https://www.youtube.com/watch?v=T2PkQPJCB\\_E](https://www.youtube.com/watch?v=T2PkQPJCB_E)

3. ENCHENTE em Montenegro - maio 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=labw57o9RkE>

Estatísticas da série de máximos por ano civil (01/Jan a 31/Dez). Optou-se pelo ano civil devido a uniformidade de distribuição de chuva nos meses do ano e a impossibilidade de se estabelecer um mês para início e fim do ano hidrológico (SIMON, PICKBRENNER, MARCUZZO, 2013; MARCUZZO, SIMON, 2016).

#### Estatísticas da Série

Média cm	Desvio-Padrão cm	Máximo cm	Mínimo cm	Amplitude cm	Assimetria	Mediana cm	1º Quartil cm	3º Quartil cm	AIQ cm
727,8	91,0	920,0	526,0	394,0	-0,3	739,0	670,8	800,0	129,3

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

Média	Desvio-Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
6,58189	0,12964	6,82437	6,26530	0,55907	-0,58725	6,60530	6,50839	6,68463	0,17624

#### Momentos-L e Razões-L

$l_1$	$l_2$	L-CV	L-SKEW	L-KURT
727,7591	52,1453	0,0717	-0,0807	0,0813

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

$l_1$	$l_2$	L-CV	L-SKEW	L-KURT
6,5819	0,0734	0,0112	-0,1364	0,0940

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), páginas 193 e 194.

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

Distribuição	Posição ( $\mu$ )	Escala ( $\sigma$ )
Log-Normal ( $\mu, \sigma$ )	6,58189	0,13011



## Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

### Análise de Frequência de Cotas 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 Porto Alegre

Rua Banco da Província, 105 – Santa Teresa  
Porto Alegre – RS – CEP: 90.840-030  
Tel.: 51 3406-7300  
Fax: 51 3233-7772

##### 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