

Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

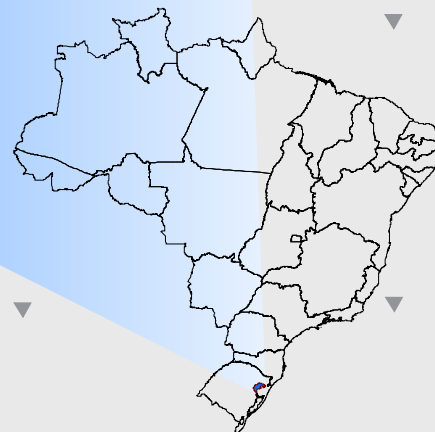
Análise de Frequência de Cotas dos Sistemas de Alerta

Sistema de Alerta: Bacia do Rio Caí

Rio Caí em Barca do Caí

Código: 87170000

Município Atendido: São Sebastião do Caí - 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: Barca do Caí

Código: 87170000

Município Atendido: São Sebastião do Caí/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 Caí; rio Caí, estação fluviométrica Barca do Caí, código
87170000, município atendido São Sebastião do Caí, RS / Francisco Fernando
Noronha Marcuzzo, Eber José de Andrade Pinto. – Porto Alegre: CPRM, 2022.
1 recurso eletrônico: PDF

Título da capa: Projeto Estudos de Regionalização nas Bacias
Hidrográficas Brasileiras
Programa Gestão de Risco de Desastres
Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos
Críticos
ISBN 978-65-5664-275-8

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: SGB/CPRM - Serviço Geológico do Brasil
É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Adolfo Sachsida

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Hailton Madureira de Almeida

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 Fernando Noronha Marcuzzo – SUREG/PA
Múcio Valença Virões – SUREG/RE
Myrla de Souza Batista Vieira – SEDE
Paula Kristhina Cordeiro Freire – REFO

Sistema de Informações Geográficas e Mapa

Ivete Souza do Nascimento – SUREG/BH

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 Barca do Caí, código 87170000. Esta estação fluviométrica faz parte do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da bacia do rio Caí e constitui um ponto de acompanhamento das cotas e vazões na cidade de São Sebastião do Caí, no Estado do Rio Grande do Sul.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	01
2 – METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL	16
3 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL.....	18
4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	20
5 – REFERÊNCIAS	25
ANEXO I	32
ANEXO II	39
ANEXO III	42
ANEXO IV	54

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 Barca do Caí
- Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Barca do Caí
- 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, inundação e inundação severa, em cada mês do ano, na estação Barca do Caí
- 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, inundação ou inundação severa, no rio Caí na localidade da estação Barca do Caí (87170000)
- 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 – 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 km² 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 km², 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.

Segundo 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 Cadeira 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 (2022). Outros 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 – SGB/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 – SGB/CPRM deu início, em 2009, aos estudos de concepção do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia 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 hidroeconômica 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 Hidro meteorológica 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).

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 km²), Santa Maria do Herval (138,5 km²), Feliz (95,8 km²), Bom Princípio (88,3 km²), Morro Reuter (87,8 km²), Picada Café (85,2 km²), Maratá (80,8 km²), Alto Feliz (79,1 km²), Linha Nova (63,7 km²), São

José do Hortêncio (63,1 km²), Tupandi (59,1 km²), Pareci Novo (56,8 km²), São José do Sul (55,4 km²), Presidente Lucena (49,4 km²), Harmonia (48,6 km²), Vale Real (44,6 km²), Lindolfo Collor (33,6 km²) e São Vendelino (32,3 km²).

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 km² de área total municipal, 182,0 km² de área inseridos na bacia, resultando em 99% do seu território na bacia), São Sebastião do Caí (111,6 km², 109,0 km², 98%), Ivoti (63,4 km², 59,7 km², 94%), Dois Irmãos (65,2 km², 60,4 km², 93%), Montenegro (419,3 km², 368,0 km², 88%), Brochier (109,3 km², 76,3 km², 70%), Gramado (236,8 km², 163,2 km², 69%), São Pedro da Serra (35,1 km², 23,0 km², 66%), Salvador do Sul (100,2 km², 65,6 km², 65%), Barão (124,5 km², 70,1 km², 56%), Nova Santa Rita (217,1 km², 119,7 km², 55%), Caxias do Sul (1.643,7 km², 778,4 km², 47%), Carlos Barbosa (229,6 km², 107,1 km², 47%), Canela (255,0 km², 105,7 km², 41%), Sapiranga (137,2 km², 54,4 km², 40%), Farroupilha (361,9 km², 141,7 km², 39%), São Francisco de Paula (3.272,2 km², 937,1 km², 29%) Portão (160,2 km², 22,9 km², 14%), Igrejinha (136,7 km², 10,0 km², 7%), Triunfo (822,7 km², 58,6 km², 7%), Estância Velha (51,9 km², 3,0 km², 6%), Três Coroas (185,9 km², 9,1 km², 5%) e Nova Hartz (62,5 km², 1,9 km², 3%).

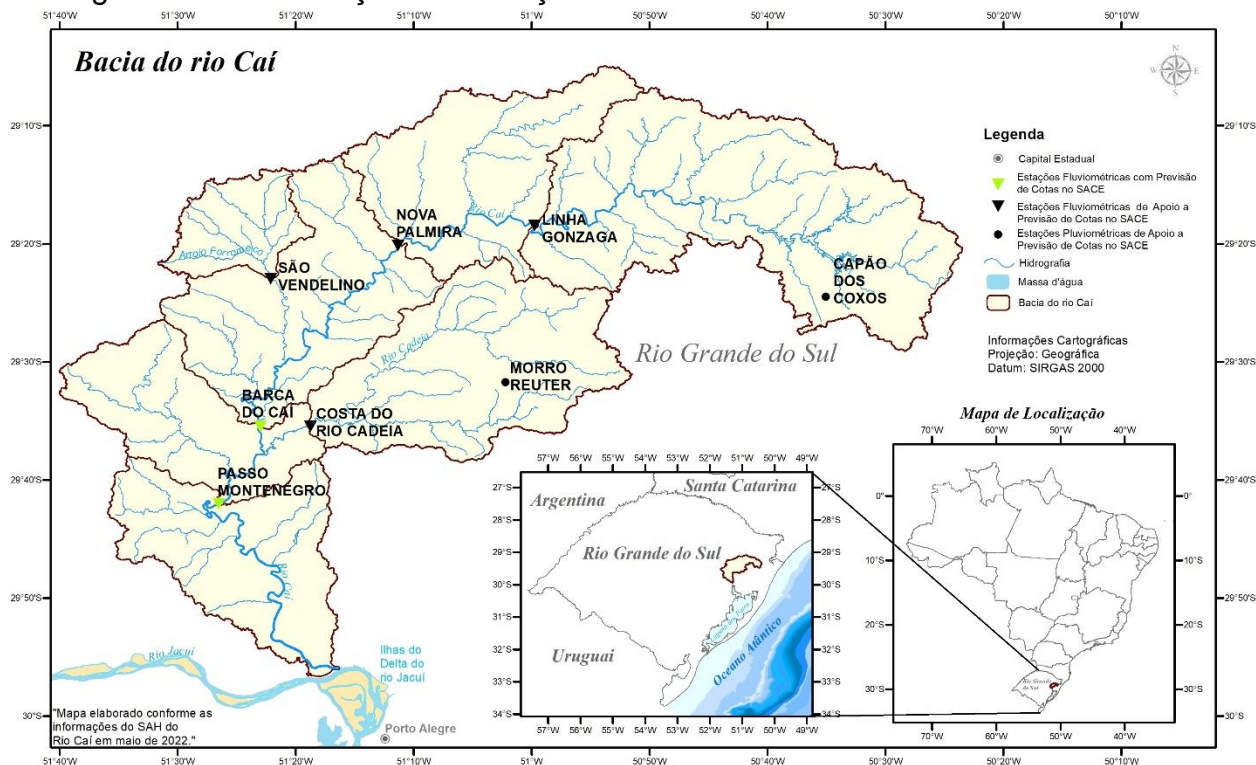
O município com maior área territorial na bacia do rio Caí é São Francisco de Paula, que possui uma área territorial total de 3.272,2 km² e uma área territorial inserida na bacia de 937,1 km², ou seja, 29% de sua área total é suficiente para ser a maior área territorial municipal na bacia do rio Caí. Já Nova Hartz, que possui 62,5 km² de área total, possui 1,9 km² 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, em julho de 2022, são: São Sebastião do Caí, com população estimada em 2021 de 26.161 pessoas (no último censo de 2010 apresentava 21.932 pessoas, resultando em uma densidade demográfica (2010) de 196,81 hab.(km²)⁻¹), 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.km²)⁻¹) (IBGE, 2010; 2022).

A localização das seis estações fluviométricas e das duas pluviométricas que compõem o Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Caí, em junho 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 SAH da bacia do rio Caí



Fonte: Elaborada pela DHT/SUREG-BH.

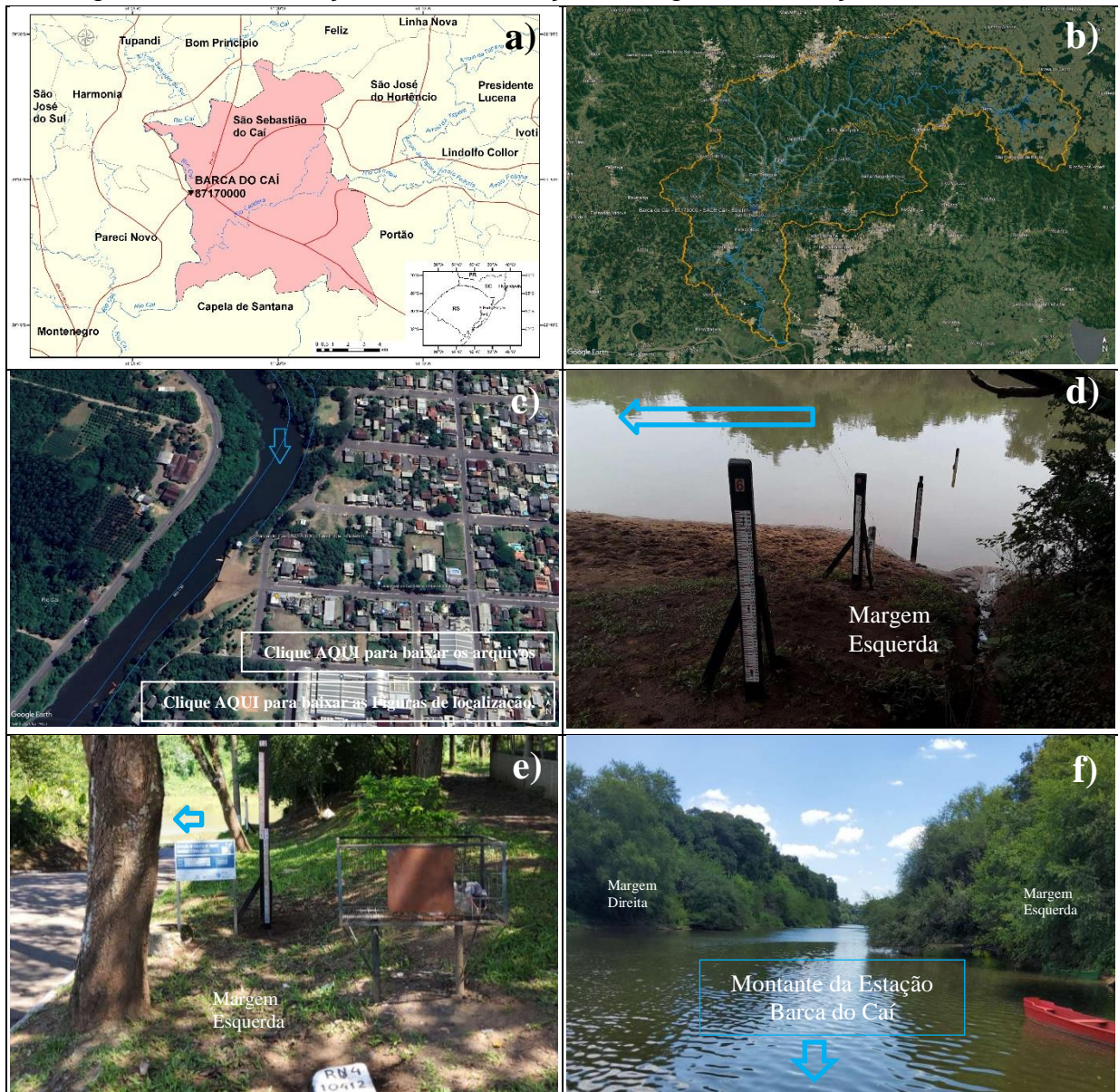
Conforme o inventário de estações fluviométricas e pluviométricas da Agência Nacional de Águas de 06/05/2022 (ANA, 2022), o rio Caí, em seu talvegue, conta com dados de 20 estações fluviométricas, sendo que apenas 13 estão em operação, das quais apenas cinco são de responsabilidade do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre/RS. Nota-se 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, como pode ser observado na Figura 01.

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).

A estação Barca do Caí, código 87170000 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2022), está localizada na Latitude 29°35'24"S e Longitude 51°23'00"O, na altitude de - 0,76 m no rio Caí e possui uma área de drenagem de 3.030 km², segundo o inventário

da ANA de maio de 2022, resultando em 60,9% da área total da bacia do rio Caí, que segundo a publicação de Tschiedel, Pickbrenner e Marcuzzo (2012), é de 4.976 km². A Figura 02 ilustra a localização e fotos da seção de réguas da estação de Barca do Caí (87170000).

Figura 02 – Localização e fotos da seção de réguas da estação Barca do Caí



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.

Segundo Guimarães *et al.* (2017) a área de drenagem da estação 87170000 é de 3.024,1 km². A estação fluviométrica Barca do Caí situa-se na margem esquerda do rio Caí, a jusante da estação Nova Palmira (87160000) e a montante da estação Passo Montenegro (87270000), sendo o último ponto de medição de descarga deste curso d'água visto que a estação Passo Montenegro (87270000), na data da elaboração deste texto, só possuía leitura de réguas. Dentro da rede hidro meteorológica nacional de

referência, o objetivo principal desta estação é o monitoramento de eventos hidrológicos críticos.

Operada pela unidade do Serviço Geológico do Brasil de Porto Alegre, a estação automática está a cerca de 140 m a jusante da seção de réguas de Barca do Caí (87170000). A estação automática está alocada na captação de água da Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN) que permanece trancada.

A Plataforma de Coleta de Dados (PCD) está alocada dentro da captação e a antena, painel solar e o pluviômetro automático da estação estão na laje da edificação, que pode ser acessada com escada móvel a partir da área externa (é necessário equipamento de trabalho em altura para acesso). O sensor de nível é do tipo capacitivo e a tubulação está ancorada na estrutura externa da captação com braçadeiras metálicas, sendo galvanizada de 75 mm de diâmetro, em caso de substituição do sensor é necessário que as curvas sejam desconectadas (necessária chave de grifo). A limpeza e manutenção do sensor de nível podem ser feitas puxando pela caixa de passagem metálica que está cerca de dois metros da captação apoiada no muro de contenção. A medição de descarga é feita de forma embarcada, com medidor acústico do tipo M9, a 500 metros a jusante da seção de réguas.

A estação de Barca do Caí possui, desde a sua implementação, em abril de 1947, réguas linimétricas instaladas para realização de duas leituras diárias pelo observador dos níveis do rio Caí, as 07h e as 17h. Contudo, até janeiro de 2022, estavam disponíveis para utilização apenas arquivos de dupla leitura a partir de 1997. Considerando dezembro de 2021, totalizou-se 25 anos de dados de dupla leitura de cotas (Anexo IV) utilizadas neste estudo de análise de frequências.

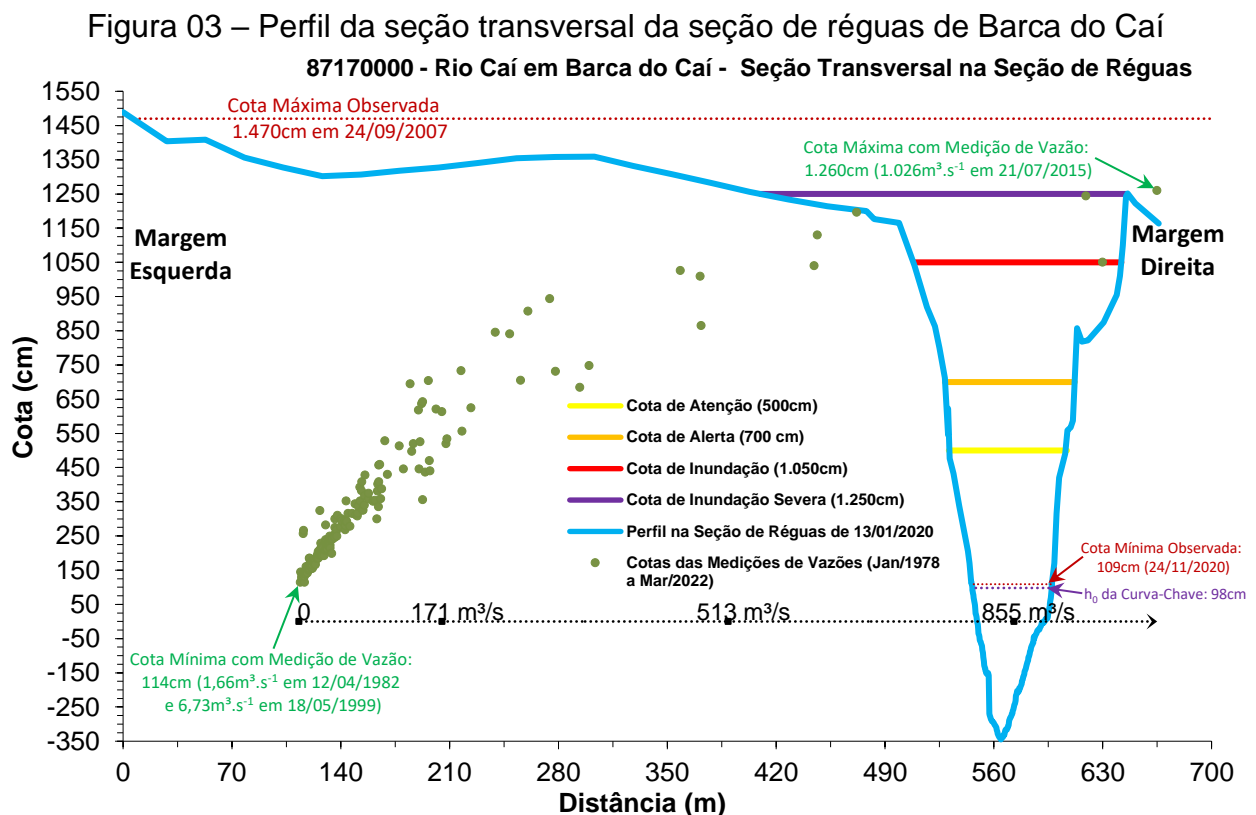
O controle desta estação é do tipo canal, para todo o intervalo de cotas. A estação possui monitoramento automático com amostragem a cada 15 minutos e transmissão via satélite a cada 1 hora.

Nesta estação, segundo o inventário da ANA (2022), desde janeiro de 2018, estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do rio Caí. A Figura 03 apresenta o Levantamento da Seção Transversal (LST) na seção de réguas da estação executado em 13/01/2020, 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 666 m.

A Figura 03 também apresenta graficamente as cotas de atenção (500 cm), alerta (700 cm) e inundação (1.050 cm) para a cidade de São Sebastião do Caí/RS, bem como, a maior e menor cota observada e a maior e a menor cota com Medição de Descarga Líquida (MDL), além do h_0 estimado pela curva-chave. A maior cota observada/registrada em Barca do Caí (87170000) foi 1.470 cm, em 24/09/2007.

Na medição de descarga líquida na cota de 1.260 cm, em 21/07/2015, obteve-se $1.026 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ no rio Caí, na localidade da estação de Barca do Caí. Já a menor cota observada foi de 109 cm, em 24/11/2020, e a menor cota com medição de descarga líquida foi de 114 cm, em 12/04/1982 e em 18/05/1999, quando se obteve, respectivamente, vazões de $1,66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $6,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ no rio Caí, na localidade da estação Barca do Caí. Ressalta-se que, os dados e as informações transcritas neste parágrafo, acima, foram obtidos no banco de dados brutos até junho 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 Barca do Caí (87170000).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Chama atenção na Figura 03, a diferença entre o h_0 (98 cm), que foi estimado no traçado da curva-chave disponível em junho de 2022 (pois o h_0 não foi medido em campo), e a cota mínima do LST da seção de réguas (aproximadamente -350 cm) de 06/08/2019. Nota-se no gráfico da Figura 03 que há uma área molhada abaixo do h_0 . O LST da Figura 03, de 13/01/2020, possui a profundidade de -345 cm. Na profundidade de -300 cm, -200 cm, -100 cm e zero, a área molhada deste LST é respectivamente 2,27 m², 17,59 m², 41,98 m² e 77,28 m². No h_0 estimado pela curva-chave (98 cm), na cota mínima histórica observada (109 cm), na cota mínima medida (114 cm), na cota de atenção (500 cm), na cota de alerta (700 cm) e na cota de inundação (1.050 cm) a área molhada do LST de 13/01/2020 de Barca do Caí (87170000) é respectivamente: 124,46 m², 130,1 m², 132,69 m², 371,58 m², 530,13 m² e 906,14 m². Um 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 (1.260 cm) e a maior cota histórica observada (1.470 cm) da estação Barca do Caí (87170000).

Considerando a área molhada de 906,14 m² na cota inundação (1.050 cm) como 100%, no LST da Figura 03, ainda há 13,74% de área molhada abaixo da cota que a vazão é estimada como zero. 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 (MARCUIZZO; PINTO, 2021). Com as informações disponíveis no momento, descritas acima, para o LST do rio Caí em 13/01/2020, verifica-se que abaixo da cota do h_0 estimado pela curva-chave disponível em junho de 2022, há um considerável volume de água disponível na calha natural do curso d'água que, a grosso modo, não compõe a vazão medida e/ou estimada que passa acima desta cota, funcionando como uma espécie de “reservatório” de aproximadamente 124,46 m² de área molhada. Somente com mais levantamentos de seções transversais a montante e a jusante da estação, seria factível entender melhor a relação entre a área molhada com a profundidade e a largura do rio Caí na localidade da estação fluviométrica Barca do Caí, bem como da área molhada com a sua vazão. 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. Os autores também relatam que, de montante para jusante do rio Uruguai, há redução da profundidade ao atingir regiões com baixas declividades e grandes planícies de inundação (próximas à São Borja/RS).

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 1.050 cm, se refere ao início do alagamento na cidade de São Sebastião do Caí/RS, a qual está a margem esquerda do rio Caí. Maiores detalhes sobre a estação podem ser encontrados na sua ficha descritiva que consta do Anexo I.

A diferença entre a máxima cota com vazão medida (1.026 m³.s⁻¹ na cota 1.260 cm) e a máxima cota observada (1.470 cm) nas réguas é de 210 cm. Já a diferença entre a maior cota observada (1.470 cm) e a menor cota observada (109 cm) é de 1.361 cm. A razão entre as cotas máximas, ou seja, a maior cota observada com a maior cota que possui medição de vazão é de 1,17 (1.470 cm/1.260 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.

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 Barca do Caí e diminuem a confiabilidade na estimativa das vazões em cotas altas para a localidade, além de alguma 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) e Barca do Caí (87170000) distam, respectivamente, 43,3 km e 59,9 km, do exutório do rio Caí no Delta do Rio Jacuí, com pouca declividade no trajeto. 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 Barca do Caí, pelo fato de se verificar dispersão de vazão medida em cotas altas na série histórica, conforme relatado no trabalho de Marcuzzo, Maldonado e Souza (2019), além da necessidade de 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 altas, como mostrado na Figura 03, 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 Barca do Caí foi de $1.026 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na cota 1.260 cm em 21/07/2015, quando o rio Caí na localidade estava sob efeito de cheia (cotas ascendentes), visto que no boletim dupla leitura há registrado a cota de 1.200 cm as 7h00 e 1.286 cm as 17h00. Em 07/11/2019, quando o rio Caí estava sob efeito de cheia (cotas ascendentes), mediu-se as vazões de $480 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com uma cota de 1.009 cm as 13h51min, e $616 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com uma cota de 1.040 cm as 15h46min. Em 08/11/2019, quando o rio Caí estava sob efeito de vazante (cotas descendentes), mediu-se a vazão de $456 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com uma cota de 1.026 cm, ou seja, mesmo sendo 17 cm acima da cota que se mediu a vazão no dia anterior (07/11/2019) as 13h51min, com cotas ascendentes, obteve-se uma vazão 5% menor, ou seja, $24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a menos, ou seja, ficando dentro de um intervalo que pode ser atribuído a incerteza na Medição de Descarga Líquida (MDL). Contudo, se compararmos a MDL de $616 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na cota 1.040 cm, das 15h46min de 07/11/2019, que foi com o rio com cotas ascendentes, com a MDL de $456 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na cota de 1.026 cm, das 13h51min de 08/11/2019, que foi com o rio com cotas descendentes, com apenas 14 cm de diferença entre as duas medições, nota-se que a vazão medida na vazante, para uma cota semelhante, foi 26% ($160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) menor que a vazão medida com o rio sob processo de cheia. Estas observações pontuais, do comportamento das vazões em Barca do Caí, 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 Barca do Caí (87170000) 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 Itaqui (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 IV 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 25 valores registrados, sendo 24

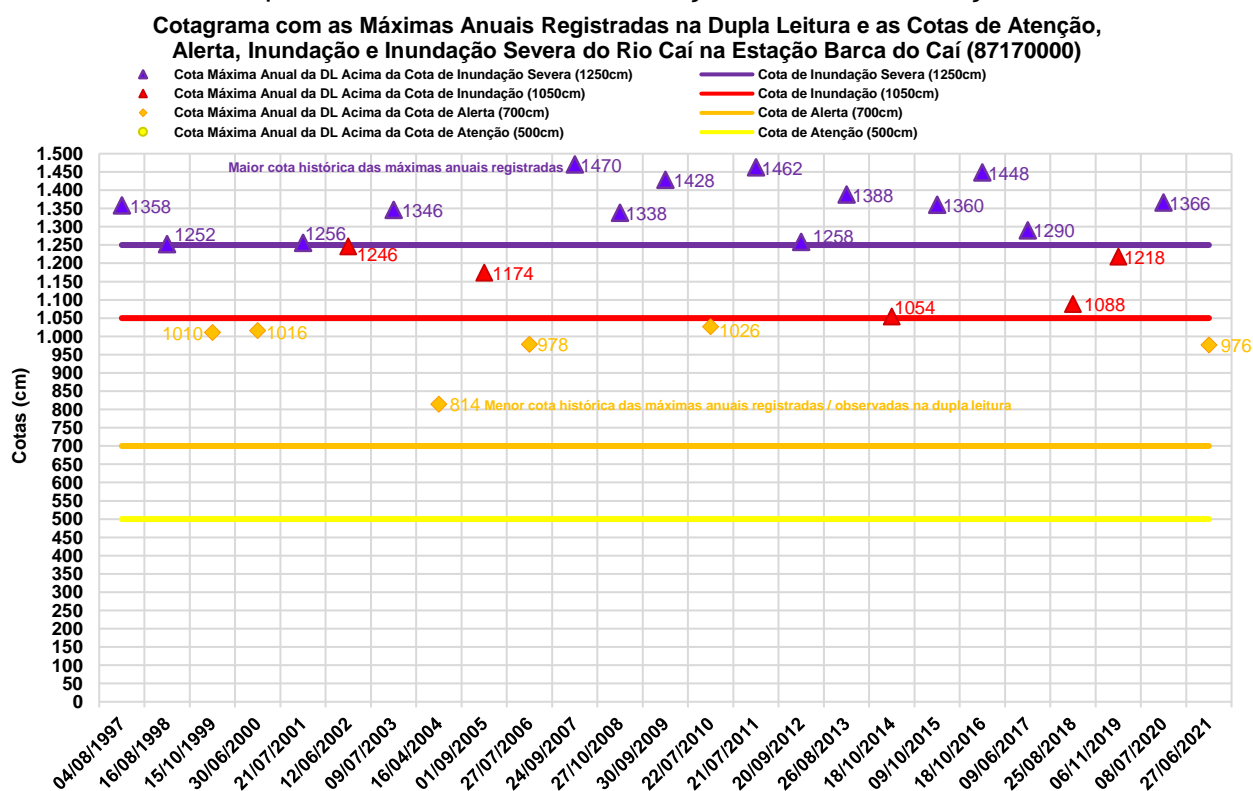
válidos dentro dos limites estatísticos de Grubbs e Beck (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 287). O limite inferior foi rejeitado pelo teste de Grubbs e Beck, tendo o valor de 814 cm de 16/04/2004, não considerado neste estudo. Conforme se observa na Figura 04 e na Tabela 01, destes 25 valores registrados 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 (500 cm) e alerta (700 cm), e, 25 registros, ou seja, 100%, são superiores a cota de alerta (700 cm).

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	25	% em Relação ao Total
Nº de Anos com Cotas Maiores que Inundação Severa ¹	14	56%
Nº de Anos com Cotas Maiores que Inundação	19	76%
Nº de Anos com Cotas Maiores que Alerta	25	100%
Nº de Anos com Cotas Maiores que Atenção	25	100%
Nº de Anos com Cotas Menores que Atenção	0	0%

¹ Segundo o nível de cota de inundação severa (1.250 cm) estabelecido por Silva (2021) para a estação Barca do Cai (87170000). Conceitos de inundação severa também descritos por Alves, Sotério e Dias (2021).
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.

Também se observa na Tabela 01 e na Figura 04 que 19 registros, ou seja, 76%, são superiores a cota de inundação (1.050 cm), considerando as cotas de atenção, alerta e inundação do SACE Caí em 06/2022 (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). Nota-se também, que das 25 cotas máximas DL, 14, ou seja, 56%, ficaram acima da cota de inundação severa, de 1.250 cm (SILVA, 2021).

Considerando-se a cota de inundação severa, de 1.250 cm, determinada por Silva (2021) para o município de São Sebastião do Caí, observa-se com os dados (Figura 04 e Anexo IV), que 14 cotas máximas anuais das 25 utilizadas, oriundas de boletim dupla leitura, de 1997 a 2021, ou seja, 56%, alcançaram ou ultrapassaram a cota de inundação severa.

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, 2015 b, 2017 a,b), tanto na bacia do rio Caí (7) 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.

Na Figura 05, observa-se o histograma com a frequência com que as cotas máximas anuais DL (Figura 04 e Anexo IV) alcançaram ou superaram as cotas de atenção, alerta, inundação e inundação severa (SILVA, 2021; ALVES; SOTÉRIO; DIAS; 2021), em cada mês do ano, na estação Barca do Caí (87170000).

Percebe-se na Figura 05, no histograma que, dos 25 anos estudados, cinco meses não registraram cotas máximas anuais DL, sendo eles janeiro, fevereiro, março, maio e dezembro. Nota-se também que o mês de abril, que teve apenas uma cota máxima anual DL, foi o único com cota máxima anual DL que não atingiu, no mínimo, uma cota de inundação, dos meses de junho a novembro, todos alcançaram ao menos em um ano a cota de inundação da estação Barca do Caí.

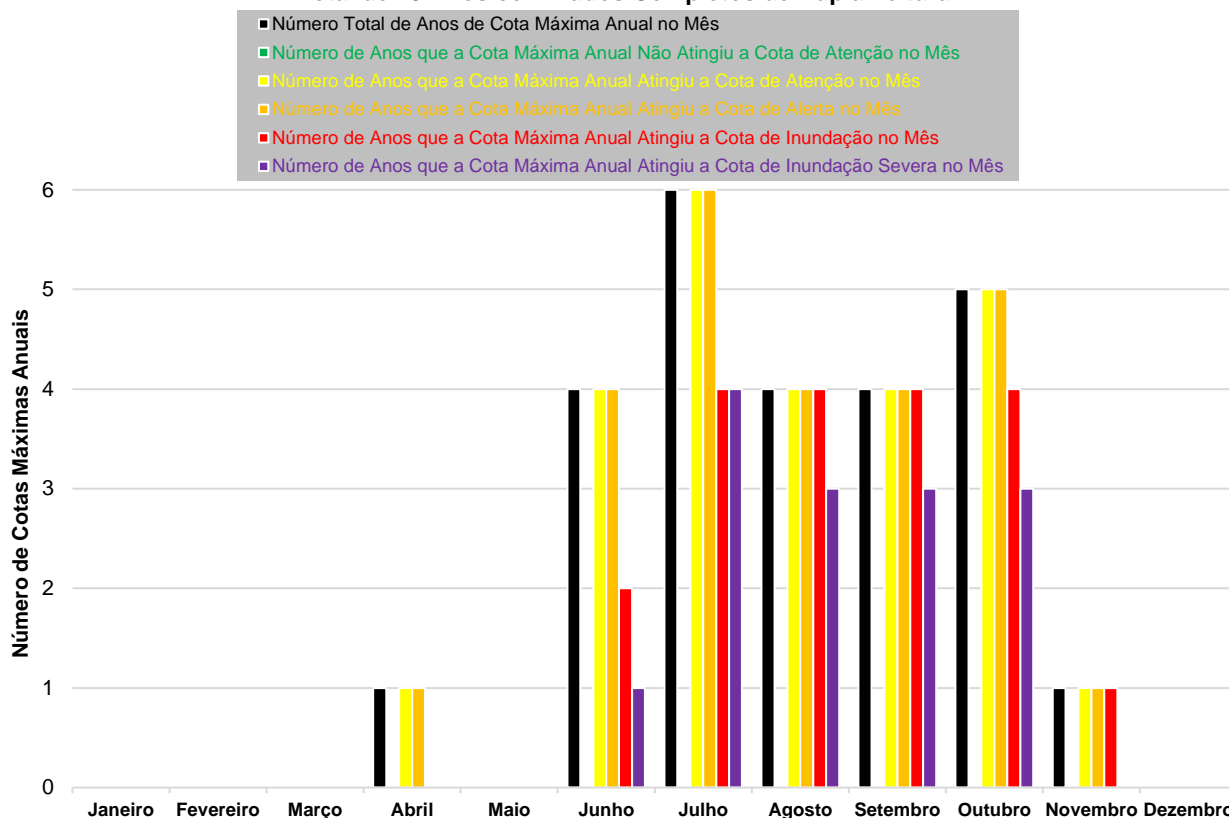
Na Figura 05, nota-se também que, dos meses de junho a outubro, todos alcançaram a cota de inundação severa. Já os meses de julho a outubro, concentraram a maior frequência de cotas de máximas anuais que alcançaram a cota de inundação severa. Para a estação Barca do Caí (87170000), mesmo o Estado do 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 mais a jusante no rio Caí, Passo Montenegro (87270000).

Na Figura 05 e na Tabela 02, observa-se nas frequências mensais das cotas máximas anuais em cada mês do ano da estação Barca do Caí (87170000) 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 Passo Montenegro (87270000), localizada mais a jusante no rio Caí. Percebe-se que julho obteve o maior número de cotas máximas anuais, com 6 (24,0%). Observa-se também, que, em

25 anos de dados Dupla Leitura (DL), dos 12 meses do ano, em cinco não foi atingida ou superada as cotas de atenção (500 cm) e alerta (700 cm), sendo eles de janeiro a março, maio e dezembro.

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

Cotas Máximas Anuais que Atingiram as Cotas de Atenção, Alerta, Inundação e Inundação Severa, em Cada Mês, no Rio Caí na Estação Barca do Caí (87170000) - Total de 25 Anos com Dados Completos de Dupla Leitura



Fonte: Elaborada pelos autores.

Portanto a as cotas de atenção (500 cm) e alerta (700 cm) foram atingidas ou superadas em sete meses, ou seja, em 58,3% dos meses do ano. Já a cota de inundação (1.050 cm), foi atingida ou superada de junho a novembro, ou seja, em seis meses do ano, considerando os 25 anos da série histórica, a cota de inundação foi atingida ou superada em 50% dos meses do ano. A cota de inundação severa (1.250 cm), foi atingida ou superada de junho a outubro, ou seja, em cinco meses do ano, considerando os 25 anos da série histórica, a cota de inundação severa foi atingida ou superada em 41,7% dos meses do ano.

Nota-se que, para a estação Barca do Caí (87170000), 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), coincidindo com o fim do outono, passando por todo o inverno, e terminando no início da primavera no hemisfério sul, precisamente como relatado para a estação Passo Montenegro (8727000), localizada mais a jusante no rio Caí, por Marcuzzo e Pinto (2022). O mês que mais atingiu ou

superou a cota de atenção (500 cm) e alerta (700 cm) foi julho, com 6 (24,0%). Já os meses que mais atingiram ou superaram a cota de inundação (1.050 cm), foram de julho a outubro, com quatro vezes cada mês, ou seja, 16%. Verifica-se que, entre 01/01/1997 e 31/12/2021, com anos não completos, das 25 observações registradas disponíveis, que puderam ser utilizadas após consistência específica para este trabalho, de cotas máximas anuais DL (Anexo V), 25 (100%) atingiram a cota de atenção (500 cm) e de alerta (700 cm), 19 (76,0%) atingiram a cota de inundação (1.050 cm) e 14 (56,0%) atingiram a cota de inundação severa (1.250 cm). Nem um único ano de dados dupla leitura de cotas máximas anuais não atingiu, ao menos, a cota de atenção (500 cm).

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, inundação ou inundação severa, no rio Caí na localidade da estação Barca do Caí (87170000)

Mês	¹ N	² % N	³ SA _t	⁴ % SA _t	⁵ SA _I	⁶ % SA _I	⁷ S _{In}	⁸ % S _{In}	⁹ S _{InS}	¹⁰ % S _{InS}
Janeiro	0	0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Fevereiro	0	0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Março	0	0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Abril	1	4%	1	4,0%	1	4,0%	0	0,0%	0	0,0%
Mai	0	0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Junho	4	16%	4	16,0%	4	16,0%	2	8,0%	1	4,0%
Julho	6	24%	6	24,0%	6	24,0%	4	16,0%	4	16,0%
Agosto	4	16%	4	16,0%	4	16,0%	4	16,0%	3	12,0%
Setembro	4	16%	4	16,0%	4	16,0%	4	16,0%	3	12,0%
Outubro	5	20%	5	20,0%	5	20,0%	4	16,0%	3	12,0%
Novembro	1	4%	1	4,0%	1	4,0%	1	4,0%	0	0,0%
Dezembro	0	0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Total de Anos	25	100%	25	100,0%	25	100,0%	19	76,0%	14	56,0%
Número de Meses do Ano que Atingiu ou Superou a Cota de Atenção, Alerta, Inundação ou Inundação Severa			7	58,3%	7	58,3%	6	50,0%	5	41,7%
Número de Meses do Ano que Não Atingiu ou Superou a Cota de Atenção, Alerta, Inundação ou Inundação Severa			5	41,7%	5	41,7%	6	50,0%	7	58,3%

¹ N - Número Total de Anos de Cota Máxima Anual no Mês.

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

³ SA_t - Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Atenção no Mês.

⁴ % SA_t - Percentual do Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Atenção no Mês.

⁵ SA_I - Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Alerta no Mês.

⁶ % SA_I - Percentual do Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Alerta no Mês.

⁷ S_{In} - Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Inundação no Mês.

⁸ % S_{In} - Percentual do Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Inundação no Mês.

⁹ % S_{InS} - Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Inundação Severa no Mês.

¹⁰ S_{InS} - Percentual do Número de Anos que a Cota Máxima Anual Atingiu ou Superou a Cota de Inundação Severa no Mês.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Até a data de preparação deste texto, a dificuldade de se obter uma extrapolação da curva-chave confiável (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 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 São Sebastião do Cai/RS, pode ser analisado na publicação de Peixoto e Lamberty (2019).

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).

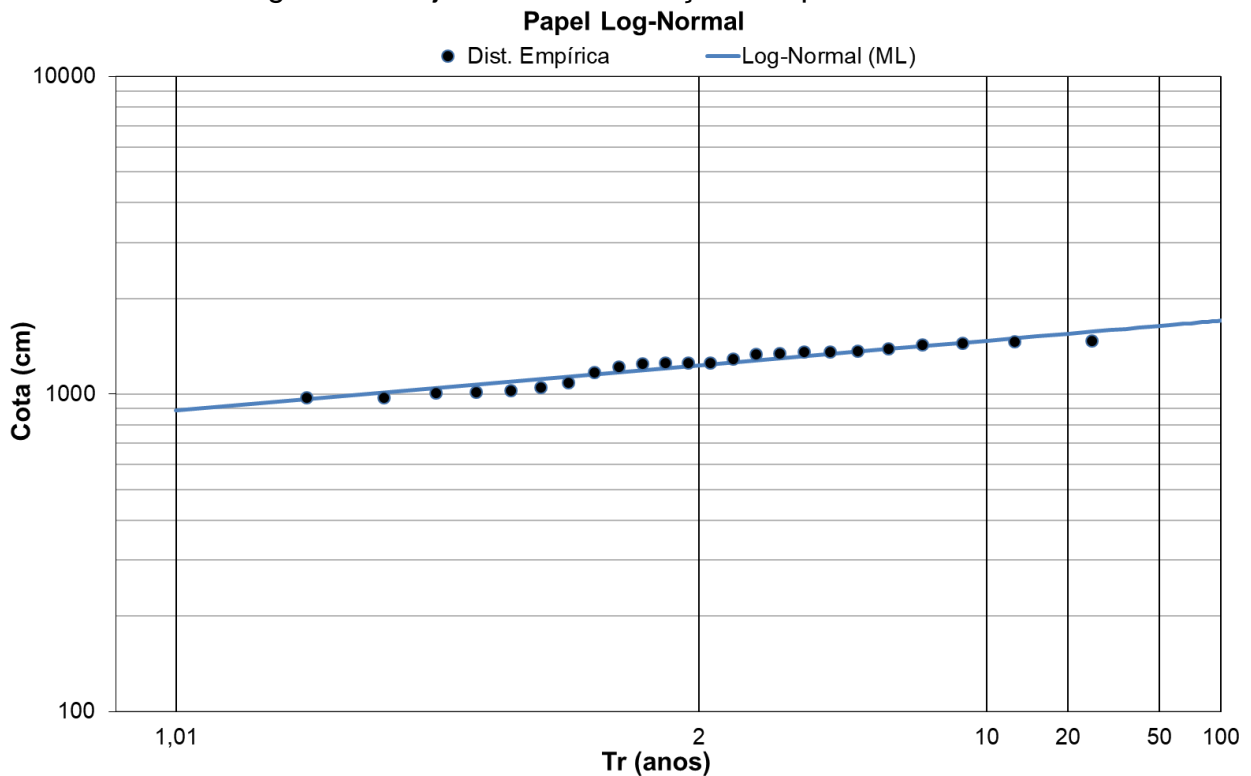
- Estimar os quantis associados a diferentes tempos de retorno.

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 Barca do Caí, código 87170000, foi efetuada utilizando a série de cotas máximas por ano civil (01/Jan a 31/Dez), apresentadas no Anexo IV, visto que não há definição de início e fim do ano hidrológico na região (SIMON, PICKBRENNER, MARCUZZO, 2013; MARCUZZO, SIMON, 2016). No Anexo IV são apresentados alguns endereços eletrônicos, disponíveis na Internet, de alguns eventos de cheia registrados, de São Sebastião do Caí/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 estão no Anexo IV. 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.

Figura 06 – Ajuste das distribuições empírica e teórica



Fonte: Elaborada pelos autores.

A inversa da distribuição Log-Normal é 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;

μ é o parâmetro de posição (7,11565);

σ é o parâmetro de escala (0,13907).

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 Barca do Cai (87170000) 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)	1231	1384	1471	1517	1547	1570	1589	1617	1638	1655	1676	1692	1701

Fonte: Elaborada pelos autores

4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) No dia 24/09/2007 o rio Caí, no município de São Sebastião do Caí/RS, na estação fluviométrica Barca do Caí e código 87170000, alcançou a cota de 1.470 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:*

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

A cota registrada foi de 1.452 cm, o parâmetro de posição é $\mu = 7,11565$, e o de escala é $\sigma = 0,13907$. Substituindo os valores na equação 02 temos:

$$Z_{\left(1-\frac{1}{T}\right)} = \frac{(\ln(1470) - 7,11565)}{0,13907} = 1,27538$$

Levando o valor 1,27538 em uma tabela de Inversa da Distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMP.N do Excel obtém-se: $P(Z \leq 1,27538) = 0,89891$.

O tempo de retorno será:

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

$$T = \frac{1}{1 - 0,89891} = 9,89 \text{ anos}$$

A probabilidade de a cota ser igualada ou superada será:

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

$$P(x_T \geq 1.470\text{cm}) = \frac{1}{9,89} 100 = 10,11\%$$

O tempo de retorno de 9,89 anos, corresponde a probabilidade de 10,11% da cota 1.470 cm ser igualada ou superada em um ano qualquer.

- b) Qual é o tempo de retorno da cota de atenção em Barca do Caí (código 87170000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de atenção em Barca do Caí, código 87170000, em 06/2022, é 500 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 500cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 100%.*

- c) Qual é o tempo de retorno da cota de alerta em Barca do Caí (código 87170000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de alerta em Barca do Caí, código 87170000, em 06/2022, é 700 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 700 cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 100%.*

- d) Qual é o tempo de retorno da cota de inundação em Barca do Caí (código 87170000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de inundação em Barca do Caí, código 87170000, em 06/2022, é 1.050 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 1,14 anos. A probabilidade da cota de 1.050 cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 87,72%.*

- e) Uma agroindústria será instalada no município de São Sebastião do Caí as margens do rio Caí. Considerando a transposição das cotas das réguas da estação Barca do Caí (código 87170000), até o local de sua instalação, verificou-se que a agroindústria terá sua base instalada na cota 1.617 cm (1.470 cm na estação Barca do Caí, em 24/09/2007, mais 10%). 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 1.617 cm e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 40,06 anos. A probabilidade da cota de 1.617 cm, na base da instalação da agroindústria, ser igualada ou superada pelo rio Caí, em um ano qualquer, é de 2,50%.*

- f) Silva (2021), em um trabalho sobre a determinação da cota de inundação severa com base no critério de prejuízos econômicos associados, aplicado ao município de São Sebastião do Caí, determinou o valor de 1.250cm como sendo o nível de

cota indicativo de inundação severa, para o município de São Sebastião do Caí, considerando o rio Caí nas cotas da seção de réguas da estação Barca do Caí (87170000). Para determinação do nível de inundação severa, Silva (2021) traçou um gráfico de evolução de prejuízos econômicos versus o nível de inundação, até um nível próximo ao maior já observado, sendo adotado como nível de referência o que representa a totalização de 50% de todos os danos potenciais para um evento de magnitude similar ao maior já ocorrido. Considerando a análise de frequência de cotas, aqui publicados, utilizando 25 anos de cotas máximas provenientes da dupla leitura as 7h00 e as 17h00, qual é o tempo de retorno da cota de inundação severa (1.250cm) em São Sebastião do Caí, determinada por Silva (2021)?

Resposta: *Substituindo a cota de inundação severa de 1.250cm (SILVA, 2021) e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 2,2 anos. A probabilidade da cota inundação severa de 1.250 cm, no município de São Sebastião do Caí, ser igualada ou superada pelo rio Caí, em um ano qualquer, é de 45,7%.*

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

No trabalho de Silva (2021), o autor também executou uma análise de frequência de cotas da estação Barca do Caí (87170000), utilizando uma serie com 74 anos de dados de cotas máximas anuais oriundos das médias diárias. O autor adotou os valores obtidos pela distribuição Log-Normal, uma vez que apresentou valores intermediários entre as demais distribuições experimentadas (Gumbel e Normal), sendo este o critério utilizado na escolha do modelo. O autor, utilizando o modelo por ele desenvolvido no trabalho, considerou que a cota de inundação severa, de 1.250 cm, está associada a um tempo de retorno de 3,5 anos aproximadamente, ou seja, 1,3 anos a mais que a de 2,2 anos determinada neste estudo. Já na dissertação desenvolvida pelo mesmo autor (SILVA, 2019), publicou-se um tempo de retorno de 15 anos para a cota de 1.478 cm, próxima a maior cota dupla leitura registrada até o momento que foi de 1.470 cm. Considerando os valores de posição e escala aqui publicados, para este modelo de análise de frequência de cotas, e considerando a cota de 1.478 cm, resulta-se em 10,6 anos de tempo de retorno, ou seja, 4,4 anos a menos 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 1.708 cm, enquanto neste presente trabalho, conforme a Tabela 03, chegou-se a uma cota de 1.701 cm para o mesmo tempo de retorno. Mapeamentos e explicações sobre cotas de inundação severa podem ser melhor analisados em Alves, Sotério e Dias (2021).

Nota-se, nestes exemplos de aplicação, que os tempos de retornos para as cotas de atenção, com 1 ano para 500 cm, e, igual, de alerta, com 1 ano para 700 cm, e de inundação, com 1,14 anos para 1.050 cm, são curtos, ou seja, há uma grande frequência, quase que praticamente 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 25 valores registrados e válidos de cotas máximas oriundas dos boletins dupla leitura, de 1997 a 2021, em nenhum ano em relação ao total de observações das cotas máximas, possuem dados anuais menores que a cota de atenção (500 cm) e alerta (700 cm), ou seja, os 25 registros são superiores a essas cotas do SACE Caí, considerando os dados disponíveis em 06/2022 (CONHEÇA o Alerta de cheias do Serviço Geológico do Brasil, 2020).

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.

A metodologia utilizada neste estudo considera apenas um evento por ano, ou seja, considera uma cota máxima por ano, independente do evento estudado atingir ou ultrapassar a cota de atenção, alerta ou inundação. Portanto, 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, é provável que muitos eventos de máximas que ocorreram num mesmo ano e não ultrapassaram o evento máximo anual registrado, não sejam contabilizados.

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.

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. 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 SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ – RS. Brasil: [s.n.], 2016. 1 vídeo (1 min.). Publicado por Hédi Vizentini. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=nsuwjVtwV2A>. Acesso em: 21 jun. 2022.

ENCHENTE EM SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ. Brasil: [s.n.], 2011. 1 vídeo (5,25 min.). Publicado por Programa Comitiva RS. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rYVf-beehBM>. Acesso em: 21 jun. 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.

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.

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. 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. 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: 08 ago. 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 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. Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22611>. Acesso em: 24 ago. 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 Passo Montenegro, código 87270000. 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.; 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_ECq3bVOFkXkcWuuNsKQX&index=5. Acesso em: 10 jun. 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. 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 operação 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 Barca do Caí, código 87170000

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Identificação

Código:	87170000	Estação:	BARCA DO CAÍ	Tipo:	FDSQT
Região hidrográfica:	Atlântico Trecho Sul			Sub-bacia:	87
Bacia:	LAGUNA DOS PATOS				
Município:	São Sebastião do Caí	Estado:	RS	Roteiro:	97
Latitude:	-29.5890	Longitude:	-51.3820	Altitude (m):	15
Instrumento:	GPS	Datum:	WGS 84		
Área de dren. (km²):	3097	Instalada em:	01/04/1947	Extinta em:	
Coordenador:	ANA	Operador:	CPRM		
Código da folha:	2786	Nome da folha:	NOVO HAMBURGO		
Orgão executor:	DSG	Ano:	1984	Escala:	1:100.000

Localização

- Localiza-se na margem esquerda do Rio Caí, no início da Rua Pinheiro Machado (Porto), em São Sebastião do Caí.

Acessibilidade

- Pela Rua Pinheiro Machado nº 5, em São Sebastião do Caí.

Seção de réguas

Margem: Margem esquerda

Réguas:

Réguas: 000-100, 100-300, 300-400, 400-500, 500-600, 600-700, 700-800, 800-900, 900-1000, 1000-1200, 1200-1300, 1300-1400 e 1400-1500.

Referências de nível

RN04 = 10412. Pino metálico em estrutura de alvenaria, aproximadamente 3,0m do lance 1000-1200.

RN06 = 14067. Pino de metal fixado em parede de alvenaria, à aproximadamente 30cm do lance 1400-1500.

**FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO
FLUVIOMÉTRICA****Seções e processos de medição**

SM2, 400m à jusante da Seção de Réguas.

Processo de medição: Barco

Equipe:

Data: 24/03/2021

Estação: BARCA DO CAI

Código: 87170000

Potamografia**Características do trecho**

Regime: Perene Conformação: Retilínea Fundo: Regular

Posição em relação à rede

Montante: NOVA PALMIRA Jusante: PASSO

Natureza e inclinação das margens

Esquerda: Alta Arenosa com Rochas

Direita: Alta Arenosa com Rochas

Leito

Natureza: Arenosa Sem Vegetação

Controle

Controle: Canal Localização: - Localiza-se na Distância

Observador

Nome:		Apelido:	
Endereço:		Complemento:	casa
Bairro:	centro	Município:	São Sebastião do Caí
Estado:	Rio Grande do Sul	CEP:	95.760-000
Telefone fixo:		Celular:	() -
Autorizado:		Apelido:	
Endereço:		Complemento:	
Telefone fixo:		Celular:	
Leiturista:			

Observações

Ativo.

Equipamentos

Régua limimétrica
Estação telemétrica, com sensor de pressão.

Equipe:

Estação: BARCA DO CAI

Data: 24/03/2021

Código: 87170000

ROT 97 – BARCA DO CAÍ – 87170000 – FDSQT

Objetivos do monitoramento

A estação fluviométrica Barca do Caí situa-se no rio Caí, a jusante da estação Nova Palmira, sendo o último ponto de medição de descarga deste curso d'água. Dentro da rede hidrometeorológica nacional de referência, o objetivo deste ponto de monitoramento é o monitoramento de eventos hidrológicos críticos.

Características físicas da estação

A estação automática está a cerca de 140 m a jusante da seção de réguas. A estação automática está alocada na captação de água da companhia de abastecimento (CORSAN) que permanece trancado, a chave pode ser encontrada com o eng. Emanuel Duarte ou na sede da CORSAN em São Sebastião do Caí. A PCD está alocada dentro da captação e a antena, painel solar e o pluviômetro automático da estação estão na laje da edificação, que pode ser acessada com escada móvel a partir da área externa (é necessário equipamento de trabalho em altura para acesso). O sensor de nível é do tipo capacitivo e a tubulação está ancorada na estrutura externa da captação com braçadeiras metálicas, sendo galvanizada de 75 mm de diâmetro, em caso de substituição do sensor é necessário que as curvas sejam desconectadas (necessária chave de grifo). A limpeza e manutenção do sensor de nível podem ser feitas puxando pela caixa de passagem metálica que está cerca de 2 metros da captação apoiada no muro de contenção.

Medição de descarga

A medição de descarga é feita de forma embarcada, com medidor acústico do tipo M9, a 500 metros a jusante da seção de réguas.

Controle

O controle desta estação é do tipo canal, para todo o intervalo de cotas.

Cota H_0

Não aplicável.

Referências de Nível

- PA 001 – 10256;
- RN4 10402;
- RN6 14067.

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: 2011

Padrão de conexão: militar ou USB-A/B

ID GOES: B55B87E2, canal primário: 81, horário de transmissão: 00:05:30, janela de transmissão: 10s;

Modem GOES: HDR G3;

Chave padrão Hidromec;

Fabricante: Hidromec/OTT;

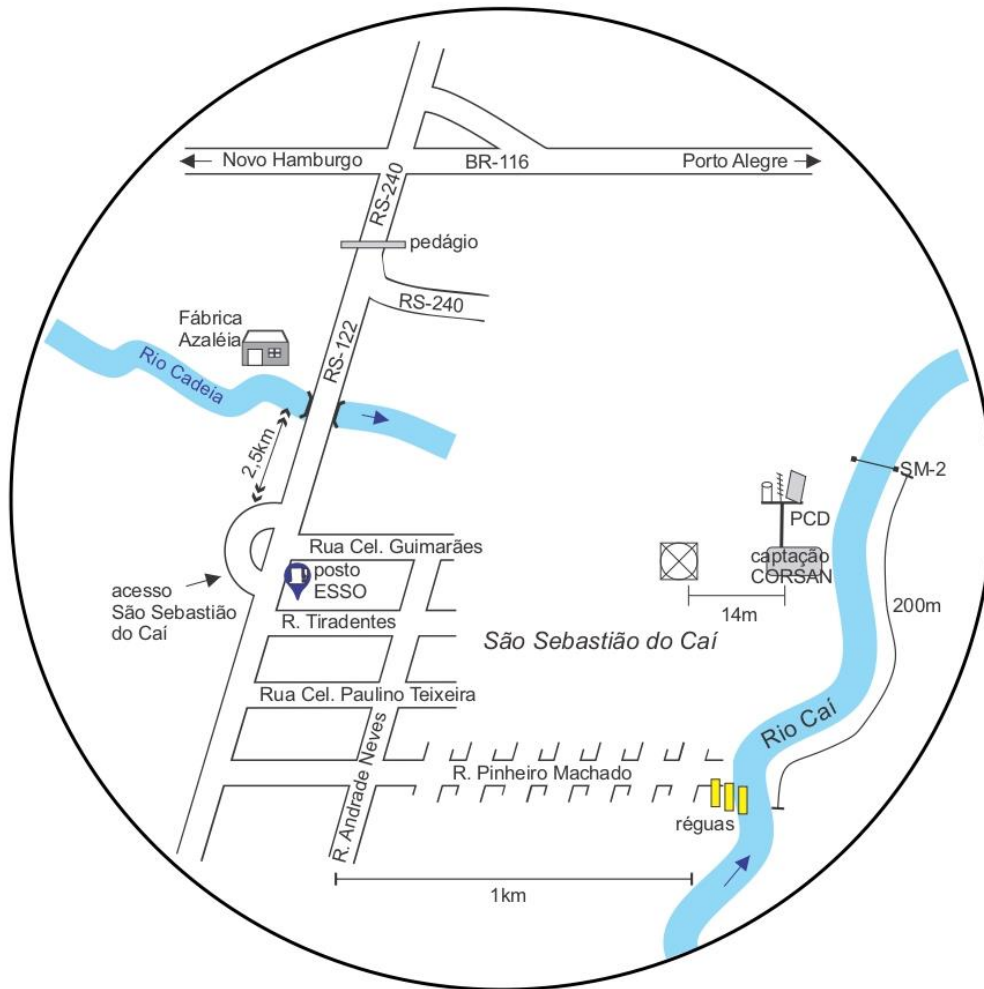
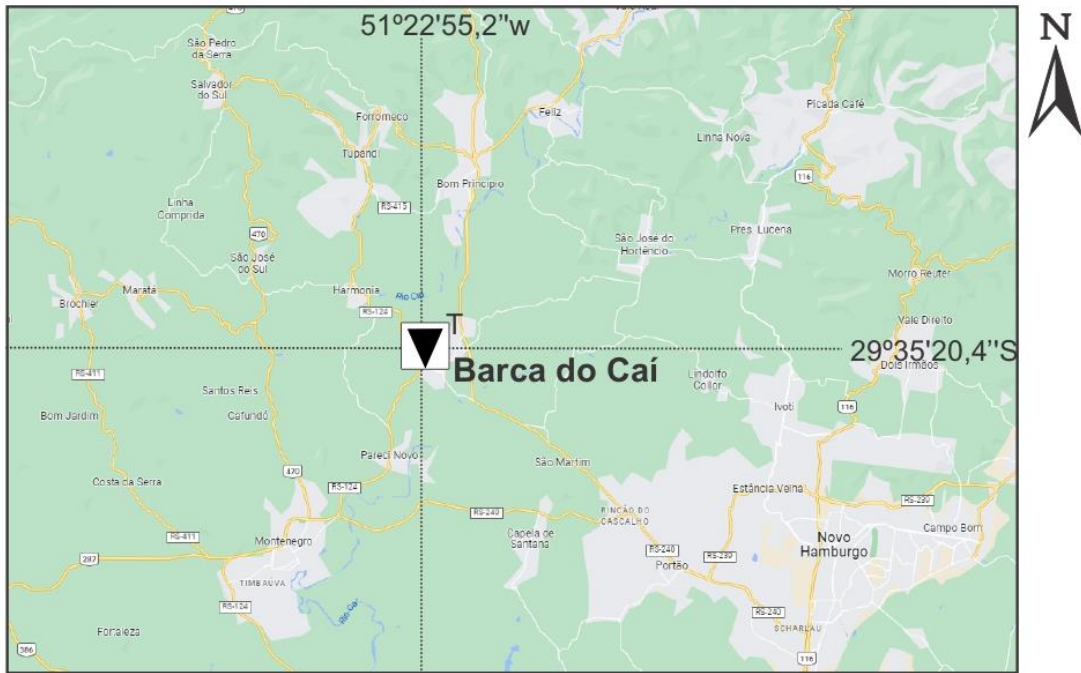
Data Logger: OTT NetDI-1000;

Bateria (12V e 26 Ah);

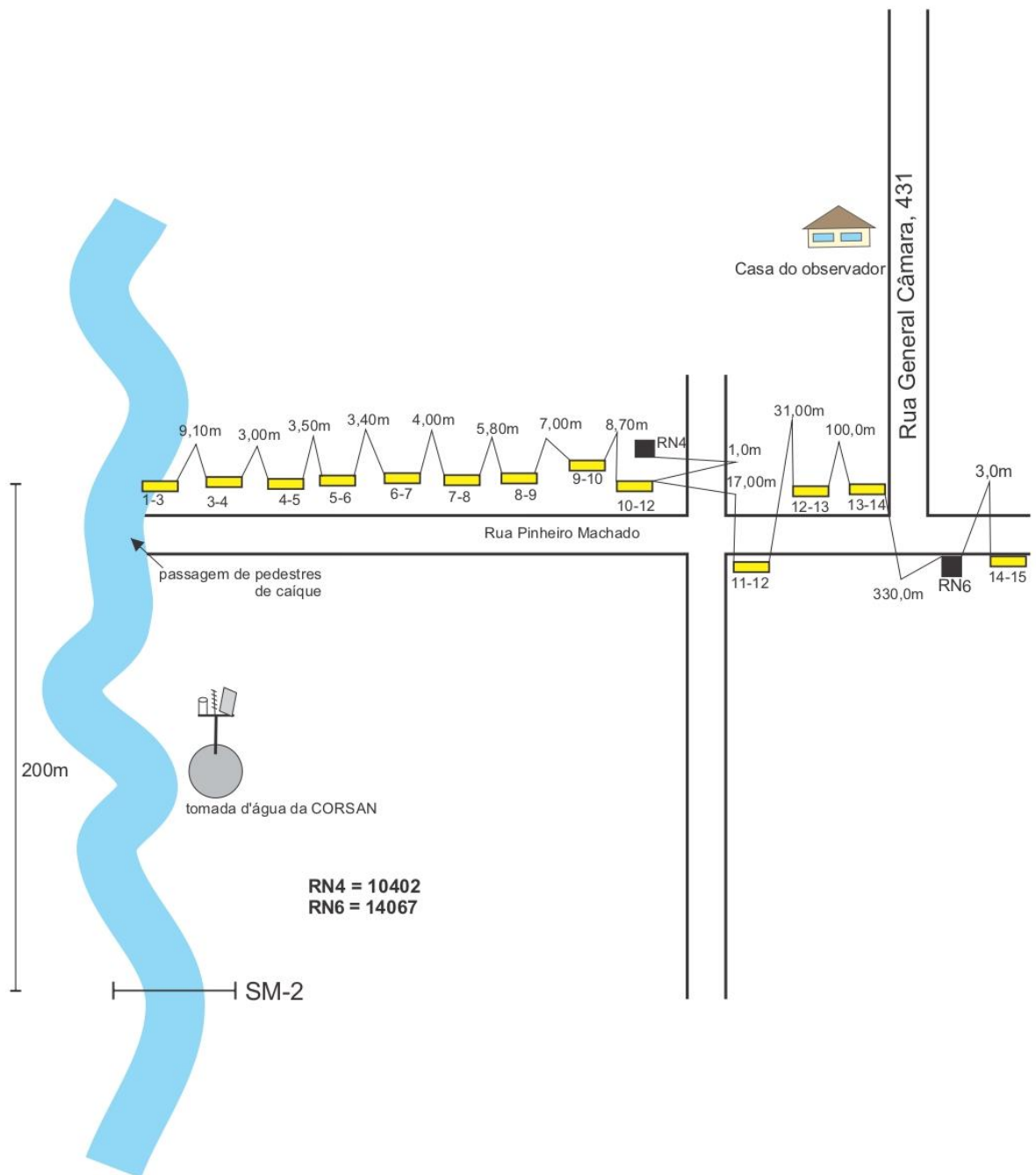
Sensor de nível capacitivo Keller 46X;

Capa do pluviômetro pode ser removida através do parafuso fixo de pressão (não requer ferramentas).

Número do patrimônio CPRM:



LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO
 BARCA DO CAÍ
 CÓDIGO:87170000
 15/06/2022



RIO CAÍ EM BARCA DO CAÍ
15/06/2022

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

ANEXO II

DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

- Função Densidade de Probabilidade

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

α = Parâmetro de escala β = 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: μ é o parâmetro de posição e σ 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

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

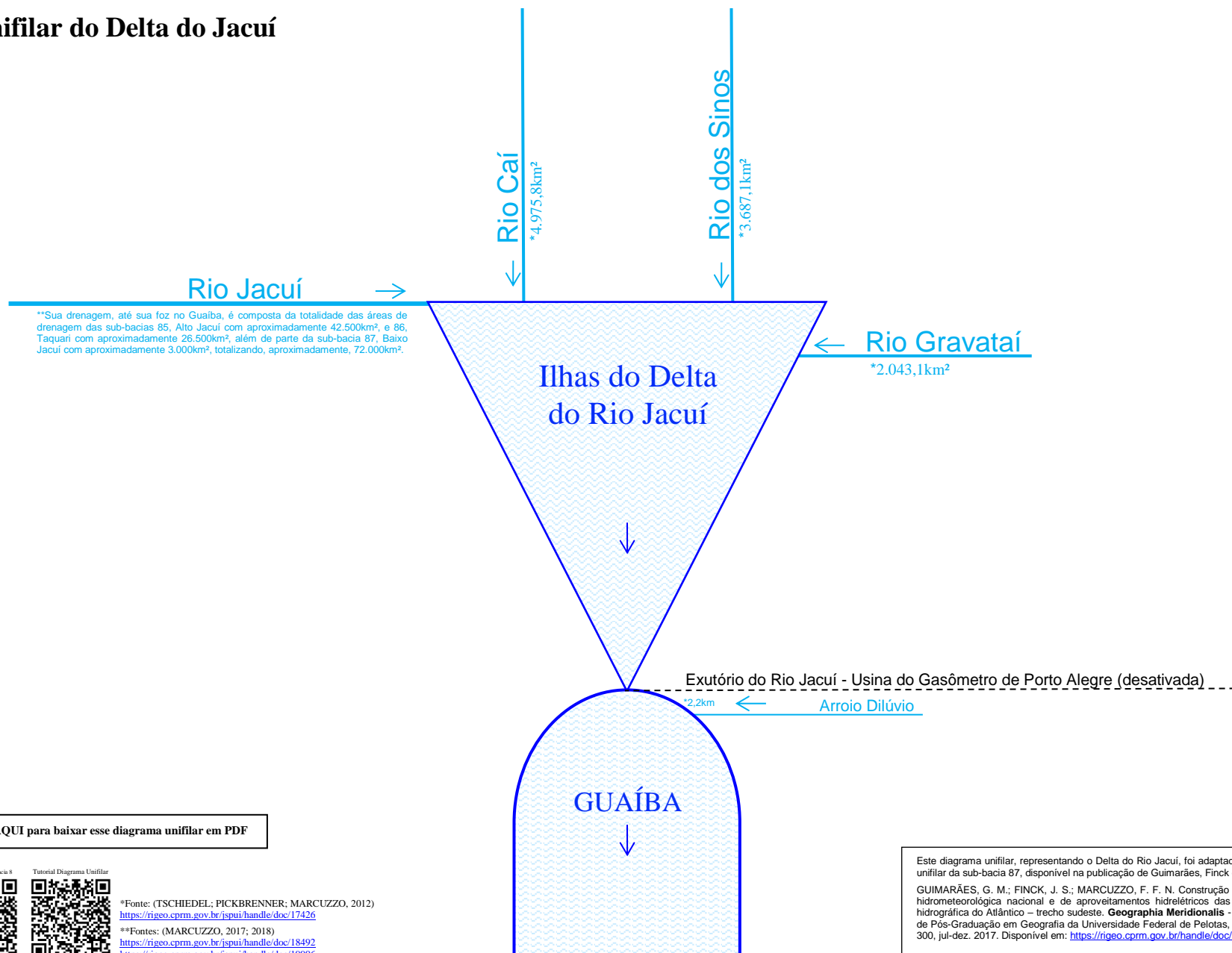
Observação: Inicialmente os dados são transformados pelo logaritmo natural, $Ln(x)$. Em seguida são calculados os momentos-L e depois os parâmetros.

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>

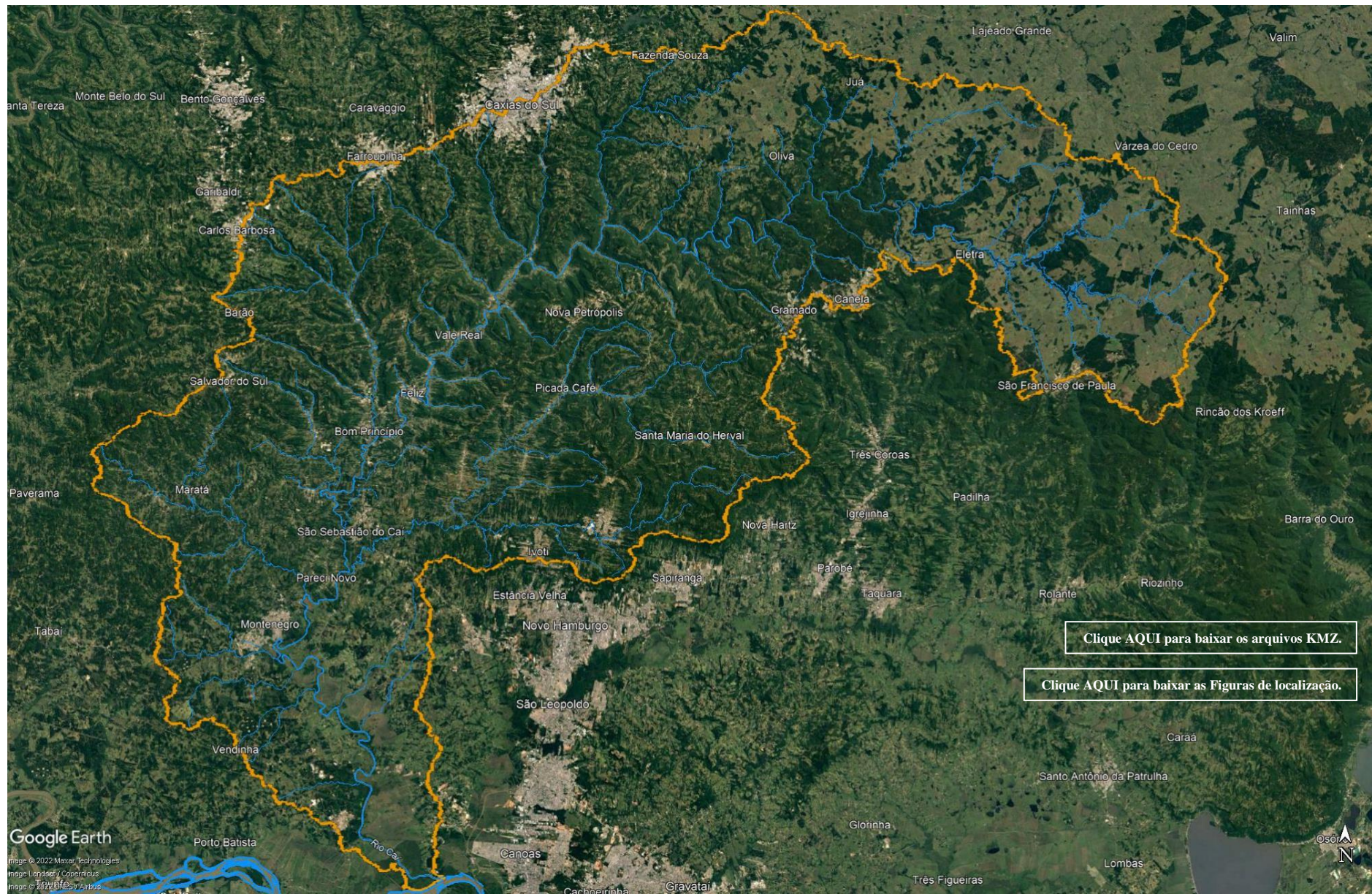


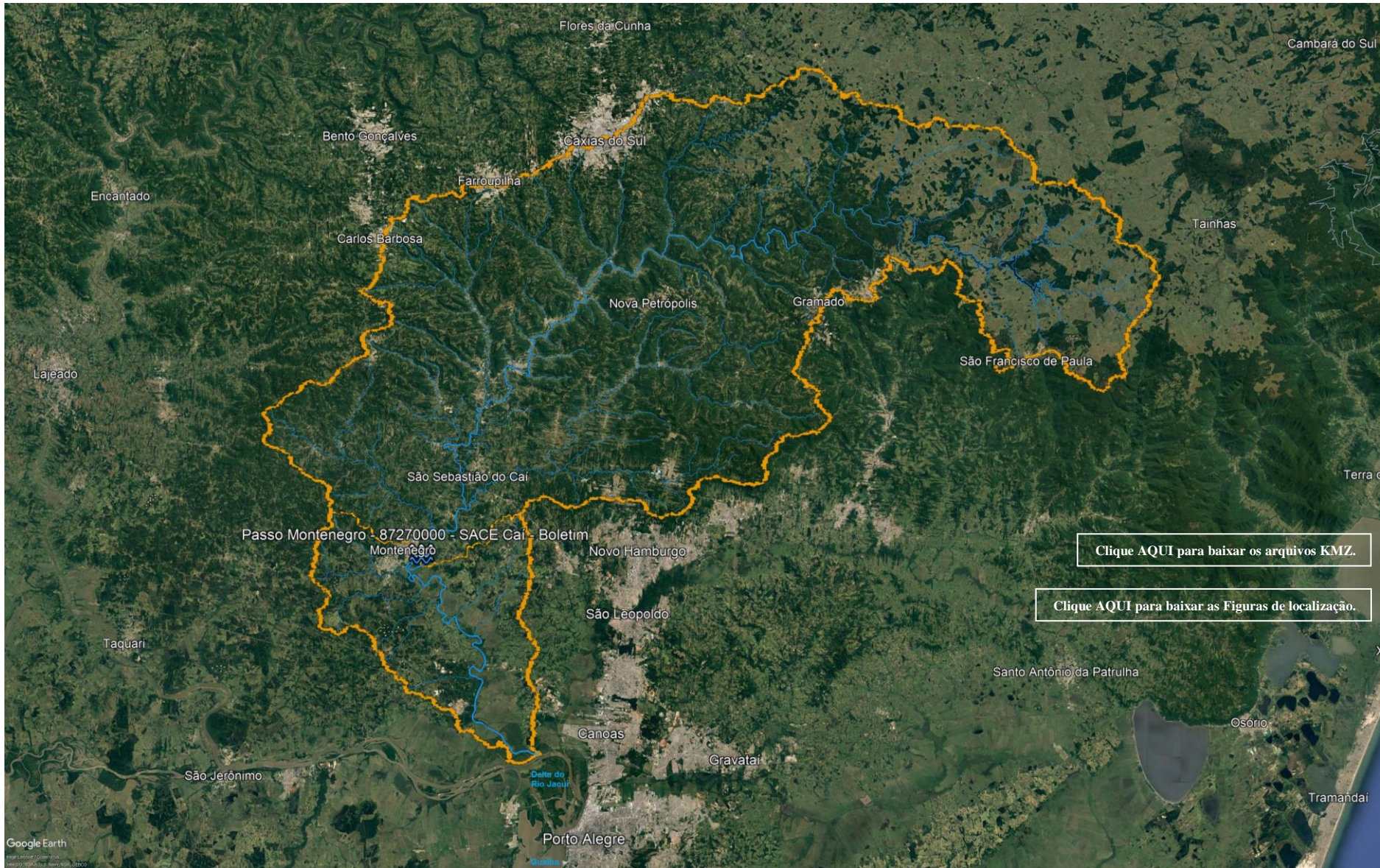
Este diagrama unifilar, representando o Delta do Rio Jacuí, foi adaptado da parte 4 de 16 do diagrama unifilar da sub-bacia 87, disponível na publicação de Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017):
 GUIMARÃES, G. M.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Construção de diagramas unifilares da rede hidrometeorológica 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.

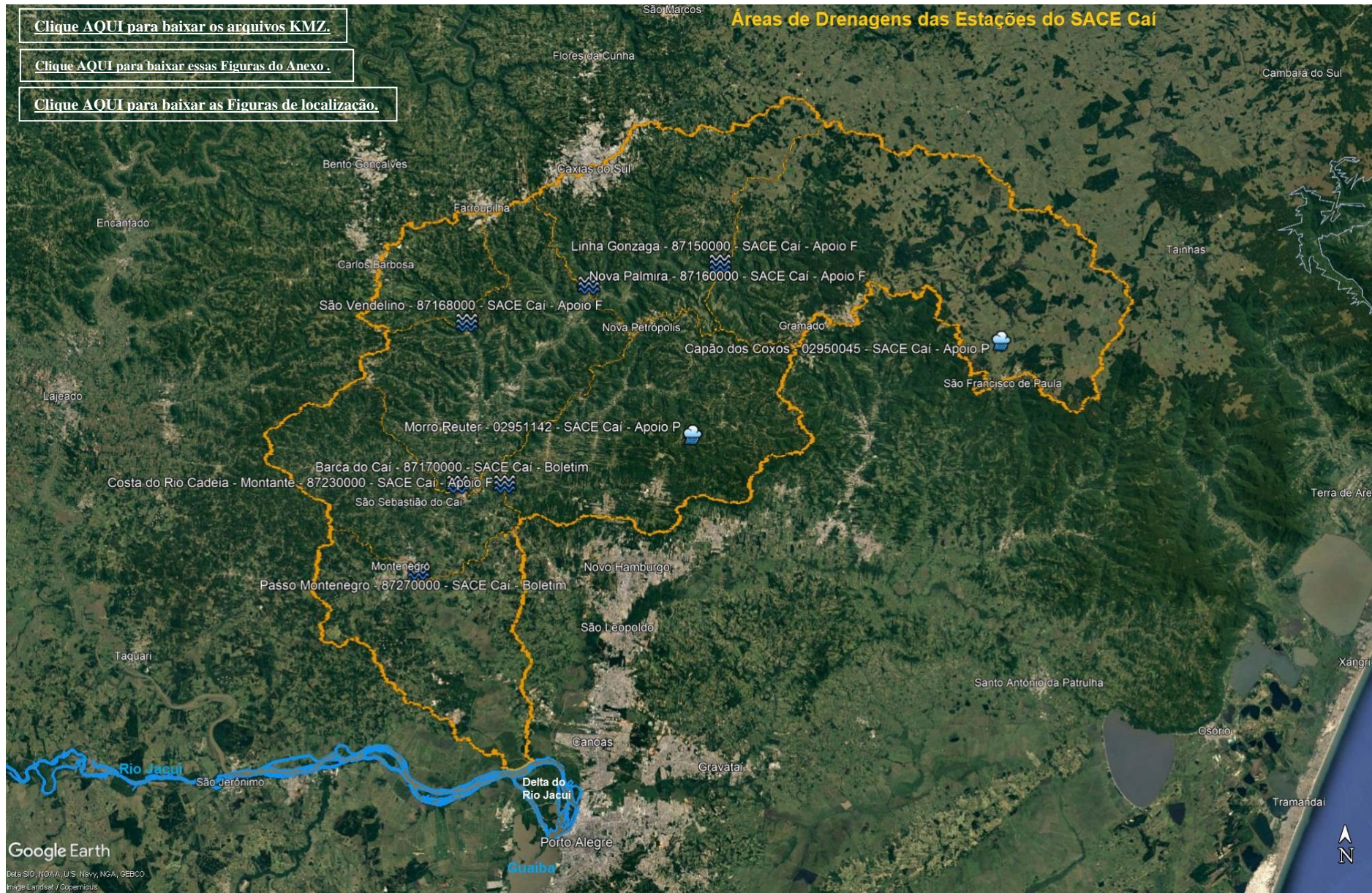
Imagens de Satélite da Localização, Delimitação da Bacia e das Áreas de Drenagem das Estações

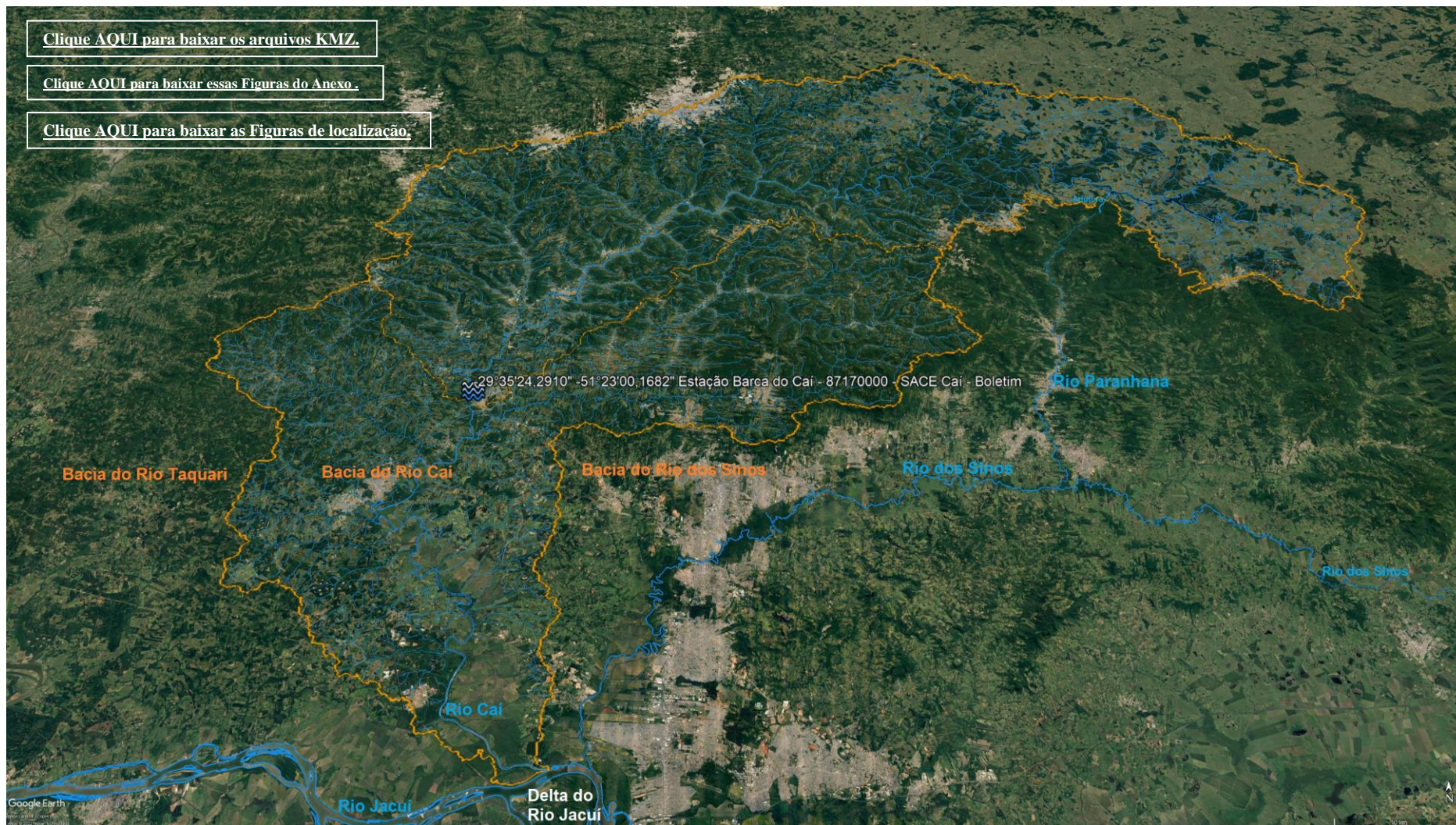












Interligação da bacia do rio Cai com a bacia do rio dos Sinos.
O Sistema Salto, que é constituído pelas barragens do Salto, inaugurada em 1952, do Blang, inaugurada em 1957, e da Divisa, inaugurada em 1960, possuem a função única de regularização das vazões para a geração de energia na bacia do rio dos 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.

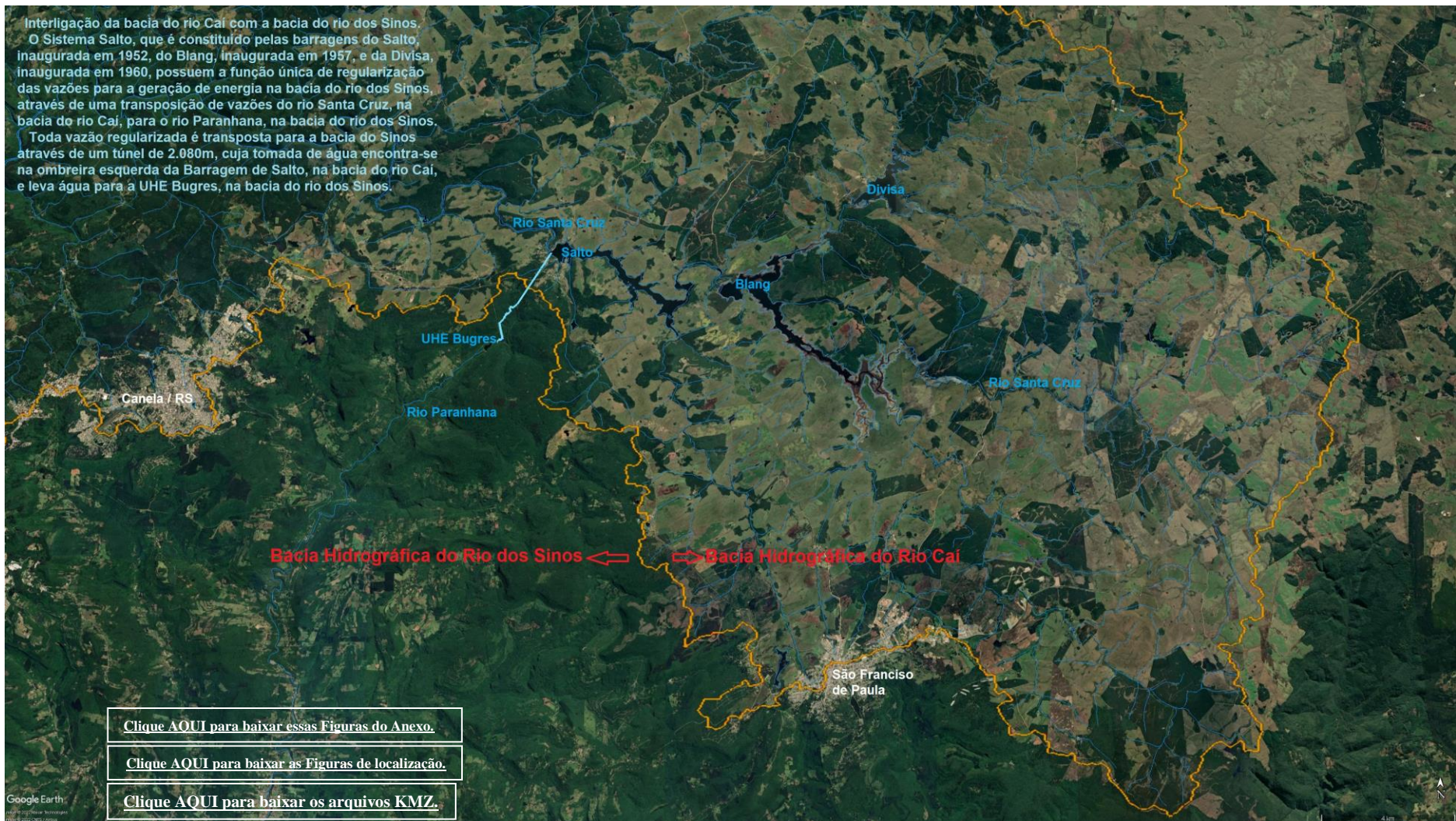
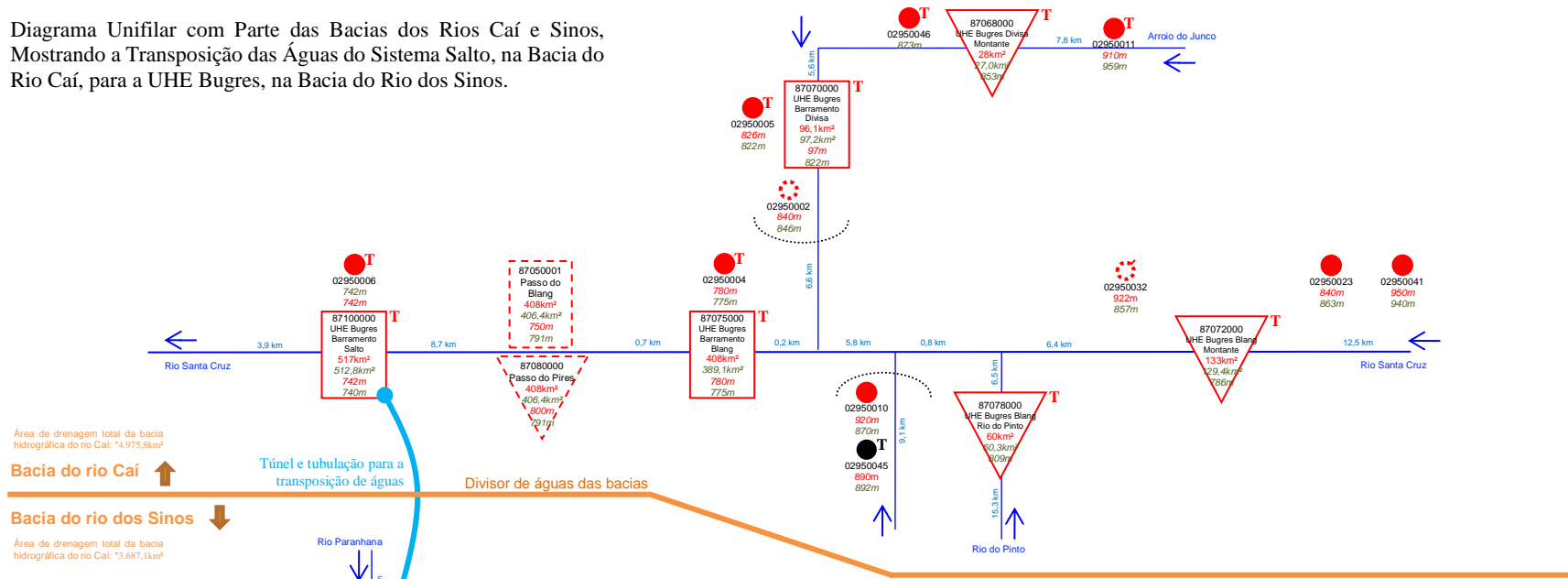




Diagrama Unifilar com Parte das Bacias dos Rios Caí e Sinos, Mostrando a Transposição das Águas do Sistema Salto, na Bacia do Rio Caí, para a UHE Bugres, na Bacia do Rio dos Sinos.



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)		CGH em Operação ou Construção – Sem Reservatório
	Estação Pluviométrica		PCH em Operação ou Construção – Reservatório Menor ou Igual a 3km²
	Estação Pluviográfica		UHE em Operação ou Construção – Reservatório Maior que 3km²
	Em Operação pela CPRM		PCH com Outorga para Implantação
	Em Operação por Outra Entidade		UHE com Outorga para Implantação
	Desativada / Extinta		PCH em Estudo para Implantação
	Telemétrica		UHE em Estudo para Implantação
	Linigráfica (r)		Área de Drenagem (km²) e Altitude (m) da ANA e ANEEL

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

Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)

Estatística da Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)

ANEXO IV

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 500 cm que a de atenção (amarelo!), ou a cota de 700 cm que é a de alerta (laranja!), ou a cota de 1.050 cm que é a de inundação (vermelho!), segundo os dados disponíveis no SACE (https://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php) do Serviço Geológico do Brasil em julho de 2022, ou a cota de 1.250 cm que é a de inundação severa (roxo!), determinada por Silva (2021), para a estação Barca do Cai (87170000) na bacia do rio Cai.

Nº	Data do Registro	Cota (cm)	Observações
1	04/08/1997	**1358	DL. Ano não completo. Verificado com apoios.
2	16/08/1998	**1252	DL. Ano não completo. Verificado com apoios.
3	15/10/1999	**1010	DL. Ano não completo. Verificado com apoios.
4	30/06/2000	**1016	DL. Ano não completo. Verificado com apoios.
5	21/07/2001	**1256	DL. Ano não completo. Verificado com apoios.
6	12/06/2002	1246	DL
7	09/07/2003	1346	DL
8	16/04/2004	814	Menor cota máxima anual da série histórica DL. Não foi utilizada devido a ser <i>outlier</i> no teste de Grubbs e Beck. Verificado com boletim escaneizado.
9	01/09/2005	1174	DL
10	27/07/2006	978	DL
11	24/09/2007	1470	DL. Maior cota anual da série histórica DL disponível na data deste estudo (1997 a 2021). Verificado com boletim e apoios.
12	27/10/2008	1338	DL
13	30/09/2009	1428	DL
14	22/07/2010	1026	DL
15	21/07/2011	1462	DL
16	20/09/2012	1258	DL
17	26/08/2013	1388	DL
18	18/10/2014	**1054	DL. Ano não completo. Verificado com apoios.
19	09/10/2015	1360	DL

Nº	Data do Registro	Cota (cm)	Observações
20	18/10/2016	***1448	DL
21	09/06/2017	1290	DL
22	25/08/2018	1088	DL. 1088cm as 17h. Maior cheia horária datalogger: 1069cm em 25/08/2018 as 15h00. Verificado com boletim.
23	06/11/2019	1218	DL. 1218cm as 7h00. Maiores cheias horárias datalogger: 1241cm em 06/11/2019 as 03h00; 1235cm em 05/11/2019 as 24h00. Verificado com boletim.
24	08/07/2020	1366	DL. 1366cm as 17h00. Maiores cheias horárias datalogger: 1401cm em 08/07/2020 as 23h00; 1397cm em 09/07/2020 as 01h00.
25	27/06/2021	976	DL

* DL – Dupla Leitura (07h00 e 17h00) – Horário de Brasília.

** 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 utilizando análise de gráfico de cotas com o apoio das estações Passo Montenegro – 87270000, Nova Palmira – 87160000, São Vendelino – 87168000 e Linha Gonzaga - 87150000.

*** 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 (ALVES; SOTÉRIO; DIAS; 2021) se manifestaram nos municípios de São Sebastião do Caí/RS e Montenegro/RS.

ANEXO IV

Estatística da Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)

Vídeos na INTERNET registrando cheias na bacia do rio Caí, no município de São Sebastião do Caí/RS.

1. Enchente em São Sebastião do Caí. <https://www.youtube.com/watch?v=rYVf-beehBM>
2. Inundação em São Sebastião do Caí dia 08 de Julho de 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=weCURM6krkE>
3. Enchente em São Sebastião do Caí-RS. <https://www.youtube.com/watch?v=nsuwjVtwV2A>

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.

Estatísticas da Série

Média cm	Desvio- Padrão cm	Máximo cm	Mínimo cm	Amplitude cm	Assime- tria	Mediana cm	1º Quartil cm	3º Quartil cm	AIQ cm
1241,9	164,3	1470,0	976,0	494,0	-0,4	1257,0	1079,5	1361,5	282,0

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assime- tria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
7,11565	0,13679	7,29302	6,88346	0,40956	-0,49897	7,13648	6,98416	7,21634	0,23218

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
1241,9167	95,0326	0,0765	-0,1041	-0,0077

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

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
7,1156	0,0785	0,0110	-0,1492	-0,0026

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos (μ e σ 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.

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

Distribuição	Posição (μ)	Escala (σ)
Log-Normal (μ, σ)	7,11565	0,13907



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