

# Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

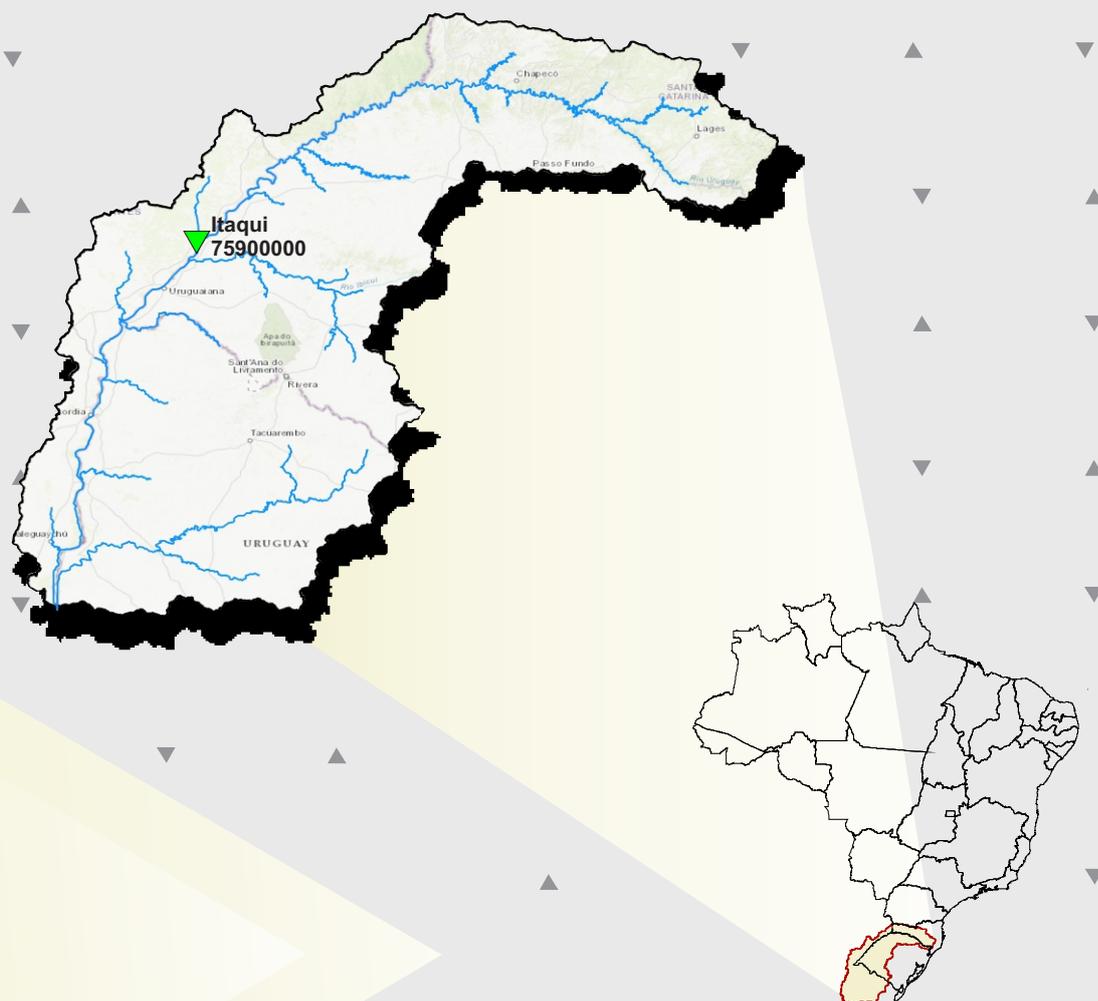
## Análise de Frequência de Cotas dos Sistemas de Alerta

### Sistema de Alerta: Bacia do Rio Uruguai

Rio Uruguai em Itaqui

Código: 75900000

Município Atendido: Itaqui - RS



2021



SERVIÇO GEOLÓGICO  
DO BRASIL - CPRM

**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 RISCO 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 Uruguai**

**Rio: Uruguai**  
**Estação Fluviométrica: Itaqui**  
**Código: 75900000**  
**Município Atendido: Itaqui/RS**

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



**PORTO ALEGRE**

**2021**

PROGRAMA GESTÃO DE RISCO 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 @ 2021 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)

A532 Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha  
Análise de frequência de cotas dos sistemas de alerta: Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai, rio Uruguai, estação fluviométrica Itaqui, código 75900000, município atendido Itaqui, RS / Francisco Fernando Noronha Marcuzzo; Eber José de Andrade Pinto. – Porto Alegre: CPRM, 2021.  
1 recurso eletrônico: PDF

Título da capa: Projeto de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras. Programa Gestão de Riscos e de Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos. ISBN 978-65-5664-263-5

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

CDD 551.48

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

**Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM**  
É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

**MINISTRO DE ESTADO**

Bento Albuquerque

**SECRETÁRIO EXECUTIVO**

Marisete Fátima Dadald Pereira

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

Pedro Paulo Dias Mesquita

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)**

**CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO**

**Presidente**

Lília Mascarenhas Sant'Agostino

**Vice-Presidente**

Fernando Antônio Freitas Lins

**Conselheiros**

Cassio Roberto da Silva

Geraldo Medeiros de Moraes

Gabriela Valente

**DIRETORIA EXECUTIVA**

**Diretor-Presidente**

Esteves Pedro Colnago

**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 (interino)*  
**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**

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

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

Ivete Souza do Nascimento – SUREG/BH

### **Equipe de Apoio Local – Cotas e Levantamentos de Seções Transversais**

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 Uruguai, especificamente na localização da estação fluviométrica Itaqui, código 75900000. Esta estação fluviométrica faz parte do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da bacia do rio Uruguai e constitui um ponto de acompanhamento das vazões e cotas na cidade de Itaqui, no Estado do Rio Grande do Sul, na fronteira com a Argentina.

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO .....	01
2 – METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL .....	10
3 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL.....	12
4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	14
5 – REFERÊNCIAS .....	17
ANEXO I .....	22
ANEXO II .....	29
ANEXO III .....	32
ANEXO IV .....	41

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização das estações fluviométricas do SAH da bacia do rio Uruguai

Figura 02 – Localização e fotos da seção de réguas da estação Itaqui

Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Itaqui

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

Figura 05 – 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 – 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 – Levantamentos de Seção Transversal nas Seções de Medição e de Réguas e a Relação da Área Molhada com a Vazão e a Cota

Anexo IV – Série de Dados Utilizados e Estatística

## 1 – INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Uruguai é formada desde as nascentes do rio Pelotas e do rio Canoas e estende-se até o estuário do rio da Prata, no fim da fronteira entre Uruguai e Argentina (GUIMARÃES; FINCK; MARCUZZO, 2017). A bacia hidrográfica do rio Uruguai é transfronteiriça e interestadual, possuindo uma área de drenagem total de 349.843km<sup>2</sup> (MARCUIZZO, 2017; 2018) considerando o seu exutório no rio da Prata (*rio de la Plata*). Sendo que, deste total, a área territorial da bacia do rio Uruguai no Brasil é de 174.078km<sup>2</sup> (49,76%), dividindo-se no estado do Rio Grande do Sul com 126.372km<sup>2</sup> (36,11%) e no estado de Santa Catarina com 95.733km<sup>2</sup> (13,65%). Já área territorial da bacia do rio Uruguai na Argentina é de 62.005km<sup>2</sup> (17,72%), no Uruguai de 113.179km<sup>2</sup> (32,35%) e 583km<sup>2</sup> (0,17%) de massa d'água. O ponto mais alto da bacia, com 1.822m, está entre Urubici e Bom Retiro, em Santa Catarina, nas coordenadas 49°19'12,3"O e 27°54'31,3"S, na divisa entre as sub-bacias 71, 83 e 84 (MARCUIZZO; SOUZA; ALMEIDA, 2016; MARCUZZO, 2017). Segundo portaria nº 447 do MME, de 20/12/1976, a bacia do rio Uruguai é a de número 7, subdividida em 10 grandes sub-bacias, da 70 a 79, e como instituído pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) na Resolução 32/2003, faz parte da região hidrográfica de número 11, denominada Região Hidrográfica do Uruguai. É limitada ao norte pela região hidrográfica do Paraná, a oeste pela Argentina e ao sul pelo Uruguai. Os principais rios da bacia do rio Uruguai, segundo Melati e Marcuzzo (2015), são: na sub-bacia 70 os rios Pelotas, Bernardo José e Lava-Tudo; na sub-bacia 71 os rios Canoas, das Caveiras e Ibicuí; na sub-bacia 72 os rios Uruguai, do Peixe, Forquilha e Apuaê; na sub-bacia 73 os rios Uruguai, Passo Fundo, Chapecó e Irani; na sub-bacia 74 os rios Uruguai, das Almas, da Várzea e Guarita; na sub-bacia 75 os rios Uruguai, Ijuí, Piratini, Icamaquã e Santa Maria; na sub-bacia 76 os rios Ibicuí, Ibirapuitã e Jaguarí; na sub-bacia 77 os rios Uruguai, Quaraí, Touro Passo e Arroio Garupá; na sub-bacia 79 os rios Negro, São Luís e Arroio Pirai.

Nos mapas de distribuição espacial de precipitação média mensal da bacia do rio Uruguai, publicados por Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017) utilizando os dados de Pinto *et al.* (2011) e Melati e Marcuzzo (2015), é possível visualizar que a sua sub-bacia 75, possui o mês de agosto na sua metade Sul e Março na sua metade Norte como os meses menos chuvosos e abril em sua metade Sul e Outubro em sua metade Norte como os meses mais chuvosos. Verifica-se, segundo os autores, que agosto é considerado o mês mais seco, em média, em toda a bacia do rio Uruguai com, na média, 54 postos pluviométricos apresentando essa característica. Já a sub-bacia 73, mais ao centro norte da bacia do rio Uruguai, apresentou a maior precipitação média anual, com 1.964mm.ano<sup>-1</sup>, e que a maior precipitação média mensal foi de 229mm, em outubro, na sub-bacia 74, na porção mais setentrional da bacia do rio Uruguai, no município de Dionísio Cerqueira, do estado de Santa Catarina. Assim, segundo os autores, outubro é considerado o mês mais chuvoso da bacia do rio Uruguai com, na média, 66 postos pluviométricos exibindo essa característica. A amplitude de chuva média anual entre as sub-bacias da bacia do Uruguai, em sua parte brasileira, é, em média, de 509mm.ano<sup>-1</sup>.

As cheias na bacia do rio Uruguai são fenômenos naturais que fazem parte da dinâmica fluvial natural. Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2001), os

condicionantes das enchentes na bacia podem ser analisados de acordo com o tamanho das bacias. Na parte superior, onde a declividade é alta e os tempos de deslocamentos são pequenos, as enchentes podem ocorrer devido a precipitações intensas com pequena abrangência espacial, enquanto que no trecho médio do rio Uruguai as enchentes são devido à ocorrência de precipitações de longa duração sobre grande parte da bacia, como ocorreu em 1972, 1983, 1990, 1992, 1997, 2014 e 2015 (PEDROLLO; SOTÉRIO; GERMANO, 2017). As enchentes atingem principalmente a população ribeirinha, ao longo do rio principal e em alguns afluentes, como os rios Ibirapuitã, Santa Maria e Quaraí. As cidades mais atingidas no rio principal são Marcelino Ramos, Iraí, Porto Lucena, Porto Xavier, São Borja, Itaqui e Uruguai. Além de vir a reduzir consideravelmente os prejuízos sociais e econômicos, o sistema de alerta hidrológico ajudará a suprir a demanda por dados confiáveis, precisos e disponíveis no tempo adequado pelas entidades interveniente em recursos hídricos, na bacia objeto deste projeto (PEDROLLO; SOTÉRIO; GERMANO, 2017).

Segundo o relatório anual de 2020 do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da Bacia do rio Uruguai (MATTIUIZI; BUFFON, 2020), o mesmo entrou em operação em dezembro de 2018 e realiza previsão de níveis para seis municípios: Uruguai, Itaqui e São Borja (localizados na calha do rio Uruguai), Alegrete (rio Ibirapuitã), Manoel Viana (rio Ibicuí), e Rosário do Sul (rio Santa Maria). Desde o início da operação até o ano de 2020 foram emitidos 111 boletins de alerta de cheia.

No Brasil, a bacia hidrográfica do rio Uruguai abrange ao todo 395 municípios, sendo 228 no Rio Grande do Sul e 167 em Santa Catarina. A população total residente nessa região, conforme o Censo do IBGE (2010) é de 4.753.431 habitantes; sendo 63% no Rio Grande do Sul e 27% em Santa Catarina (MATTIUIZI; BUFFON, 2020). Até março de 2021 as previsões de cota, realizadas para as seis estações já citadas, atingem uma população total de aproximadamente 349 mil pessoas (IBGE, 2010). Os municípios atendidos, até dezembro de 2021, todos no estado do Rio Grande do Sul, pelo Sistema de Alerta de Eventos Críticos da bacia do rio Uruguai (<https://www.cprm.gov.br/sace/>) são: Uruguai (125.435 habitantes), Alegrete (77.653 habitantes), São Borja (61.671 habitantes), Rosário do Sul (39.707 habitantes), Itaqui (38.159 habitantes) e Manoel Viana (7.072 habitantes).

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM, possui em seu Repositório Institucional em Geociências (RIGEO - <http://rigeo.cprm.gov.br/>) relatórios com a delimitação das áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa dos municípios que o SACE emite previsão de cotas na bacia do rio Uruguai: Uruguai (HOELZEL; LAMBERTY, 2014), Alegrete (SILVA; SILVA, 2013), São Borja (PEIXOTO; HOELZEL, 2015), Rosário do Sul (SILVA; SILVA, 2012) e Itaqui (SILVA; SILVA, 2013).

Conforme o inventário de estações fluviométricas e pluviométricas da Agência Nacional de Águas de 10/09/2021 (ANA, 2021), a bacia hidrográfica do rio Uruguai conta com 75 estações fluviométricas (32 telemétricas) e 180 estações pluviométricas (83 telemétricas), sendo oito com registrador de chuva e 172 convencionais em operação, totalizando 255 estações pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional, sob responsabilidade da ANA, que são operadas pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre/RS.

A localização das 32 estações fluviométricas que compõem o Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Uruguai, em dezembro de 2021, está apresentada na Figura 01. Mapas das áreas de drenagem das estações do Alerta Hidrológico da Bacia do Uruguai podem ser baixados clicando [AQUI \(PDF\)](#) e [AQUI \(PNG\)](#). Nota-se que, até a data de elaboração deste texto, das 32 estações fluviométricas, seis possuem previsão de cotas no SACE (<https://www.cprm.gov.br/sace/>) e 26 são estações de apoio para o modelo de previsão de cotas.

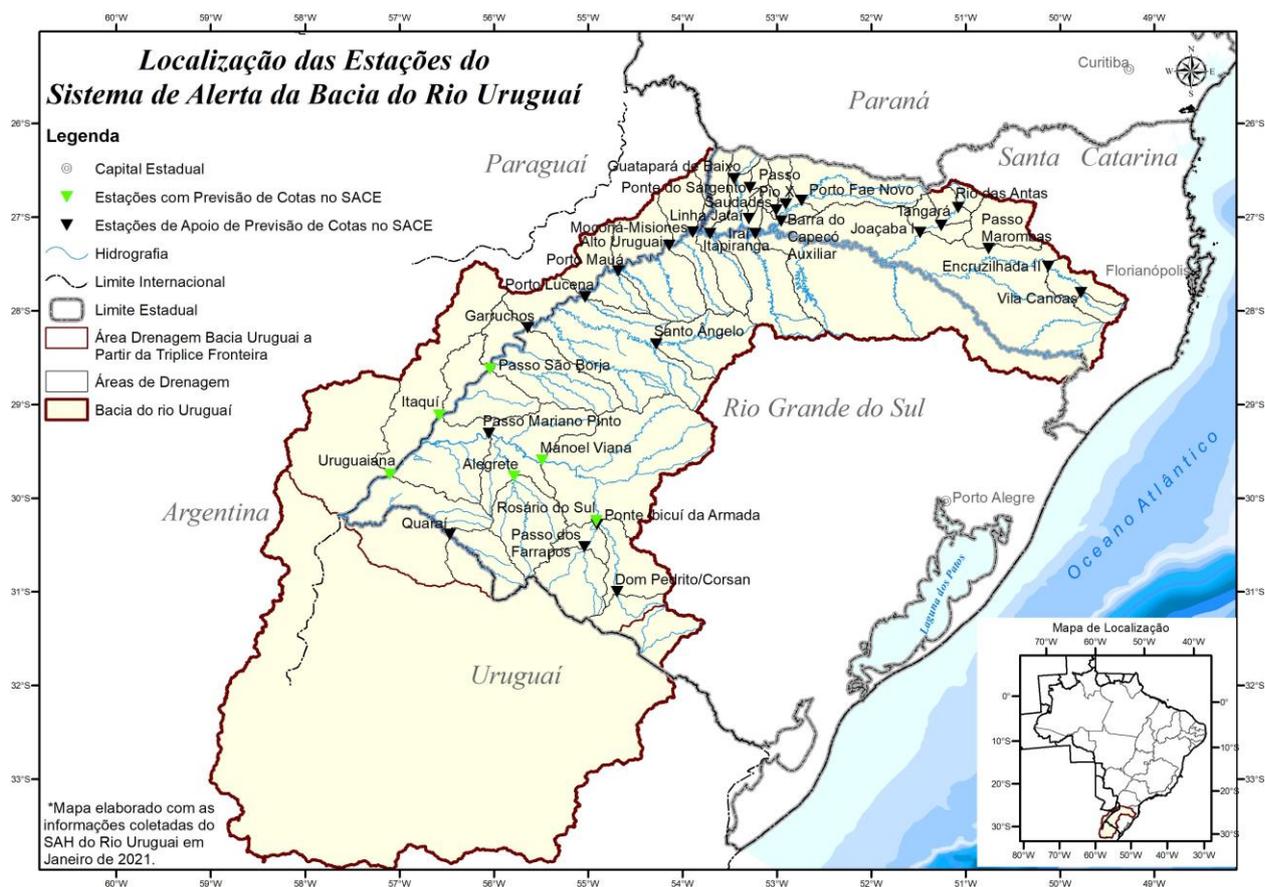


Figura 01 – Localização das estações fluviométricas do SAH da bacia do rio Uruguai

A estação de Itaqui, código 75900000, está localizada na Latitude 29°07'03"S e Longitude 56°33'16"O, na altitude de 42,56m no rio Uruguai e possui uma área de drenagem de 131.000 km<sup>2</sup>, resultando em 37,45% da área total da bacia do rio Uruguai (349.844km<sup>2</sup>, em Marcuzzo (2017)). A estação fluviométrica está instalada na margem esquerda do rio Uruguai, em território brasileiro, já que a margem direita fica em território argentino, utilizando como suporte para parte da seção de réguas o próprio porto atracadouro da balsa que liga os dois países. A Figura 02 ilustra a localização e fotos da seção de réguas da estação de Itaqui (75900000).

A estação de Itaqui possui, desde a sua implementação, em dezembro de 1939, réguas limimétricas instaladas para realização de duas leituras diárias pelo observador dos níveis do rio Uruguai, as 7h e as 17h. Contudo, até dezembro de 2021, estavam disponíveis para utilização apenas arquivos de dupla leitura a partir de 1974.

Descartando alguns anos com falhas, totalizou-se 28 anos completos de dados de dupla leitura de cotas (Anexo IV) utilizadas neste estudo de análise de frequências.

Nesta estação, desde março de 2014, estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do rio Uruguai, ou seja, a estação fluviométrica de Itaqui possui desde a instalação do alerta de cheias da bacia do rio Uruguai um equipamento telemétrico para aquisição de dados de nível e chuva (código da estação pluviométrica: 02956005).



Figura 02 – Localização e fotos da seção de réguas da estação Itaqui

A Figura 03 apresenta o Levantamento da Seção Transversal (LST) na seção de réguas da estação. Todos LSTs da estação, seja na seção de réguas ou na seção de

medição, disponíveis no banco de dados corporativo do SGB de Porto Alegre, até dezembro de 2021, e um maior detalhamento gráficos das informações de interesse, além de suas localizações sobre imagem de satélite, podem ser visualizados na primeira parte do Anexo III. A Figura 03 e as que estão na primeira parte do Anexo III, também apresentam graficamente as cotas de atenção (630cm), alerta (730cm) e inundação (830cm) para a cidade de Itaqui/RS, bem como, a maior cota observada e a maior cota com Medição de Descarga Líquida (MDL). A maior cota observada/registrada em Itaqui (75900000) foi 1.452cm, em 18/07/1983, na grande cheia histórica do rio Uruguai. Na medição de descarga líquida na cota de 968cm, em 09/11/2008, obteve-se  $11.635\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  no rio Uruguai, na localidade da estação de Itaqui. Já a menor cota observada foi de -36cm, em 03/05/2020, e a menor cota com medição de descarga líquida foi de -6cm, em 30/04/2012, quando se obteve uma vazão de  $486\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  no rio Uruguai, na localidade da estação Itaqui. Ressalta-se que, os dados e as informações transcritas neste parágrafo, acima, foram obtidos no banco de dados brutos até dezembro de 2021, 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 Itaqui (75900000). Detalhamentos da bacia 7, como hidrogeologia, cálculos de subáreas, drenagens de estações e diagramas unifilares, podem ser observados em Almeida *et al.* (2016), Koefender e Marcuzzo, (2016b), Finck *et al.* (2017), Freitas e Marcuzzo (2017), Souza *et al.* (2017) e Finck (2018).

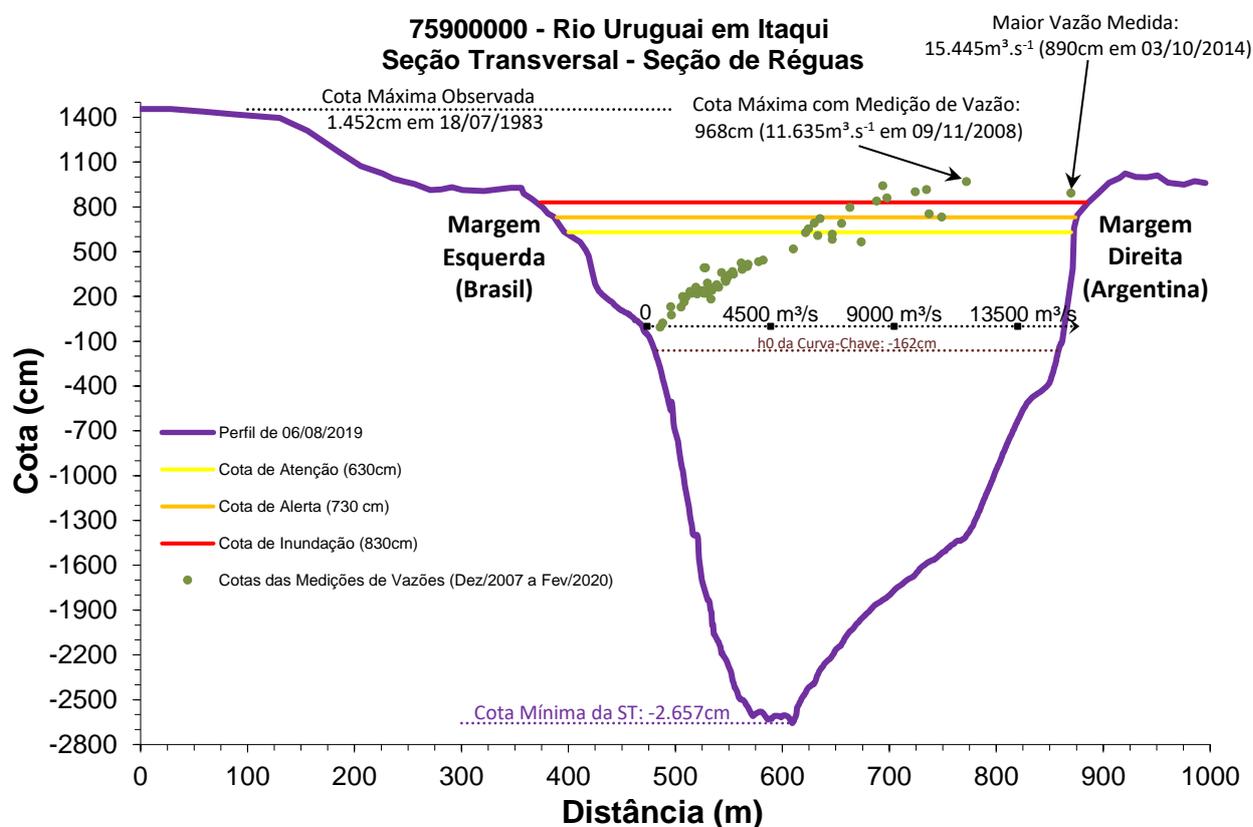


Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de régua de Itaqui

Chama atenção na Figura 03, a grande diferença entre o  $h_0$  (-162cm), que foi estimado no traçado da curva-chave disponível em dezembro de 2021, pois o  $h_0$  não foi medido em campo, e a cota mínima do LST da seção de réguas (-2.657cm) de 06/08/2019. Nota-se no gráfico da Figura 03 que há uma grande área molhada abaixo do  $h_0$ . Nas imagens de satélite da Figura 02 e do Anexo III, nota-se um estreitamento do rio Uruguai na localidade da estação Itaqui (75900000), sendo o mesmo bem mais largo a montante e a jusante. Executou-se um breve estudo da área molhada para diversas cotas de interesse em relação a vazão, que pode ser verificado na segunda parte do Anexo III. Observa-se na Tabela da segunda parte do Anexo III que, a maior cota com MDL (968cm com  $11.635\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  em 09/11/2008) possui uma área molhada ( $\text{m}^2$ ) de  $10.663\text{m}^2$ , e a cota do  $h_0$  (-162cm), estimado pela curva-chave, possui  $5.574\text{m}^2$  de área molhada, ou seja, considerando a área molhada na maior cota com MDL como 100%, ainda há 52% de área molhada abaixo da cota que a vazão é estimada como zero. Com as informações disponíveis no momento, para o LST do rio Uruguai em 06/08/2019, se deduz que abaixo da cota do  $h_0$  estimado pela curva-chave disponível em dezembro de 2021, há um grande volume de água que, a grosso modo, não compõe a vazão medida e/ou estimada que passa acima desta cota, funcionando como uma espécie de “reservatório”. Apenas com vários levantamentos de seção transversal a montante e a jusante da estação, seria possível entender melhor a relação entre a área molhada com a profundidade e a largura do rio Uruguai nesta localidade, bem como da área molhada com a 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 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, há redução da profundidade ao atingir regiões com baixas declividades e grandes planícies de inundação próximas à São Borja/RS, ou seja, a estação Itaqui (75900000), por estar situada a jusante de São Borja/RS, está situada em região de baixa declividade da bacia e grande planície de inundação. Assim os autores relatam que a característica do escoamento nessa região inclui o transbordamento do canal principal em vastas planícies de inundação e isso reduz drasticamente a velocidade da propagação das ondas de cheia.

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 100cm ou outro qualquer valor as cotas da estação. Adverte-se que a cota de inundação, de 830cm, se refere ao início do alagamento na cidade de Itaqui/RS, a qual está a margem esquerda do rio Uruguai. 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 ( $11.635\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  na cota 968cm) e a máxima cota observada (1.452cm) nas réguas é de 484cm. Já a diferença entre a

maior cota observada (1.452cm) e a menor cota observada (-36cm) é de 1.488cm. A razão entre as cotas máximas, ou seja, a maior cota observada com a maior cota que possui medição de vazão é de 1,5 (1.452cm/968cm). Segundo Tucci (2002) a melhores curva-chaves, aquelas com menor extrapolação do ramo superior, possuem a razão entre as cotas máximas observadas e com medição de vazão inferior a 1,25. A delimitação das áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa do município de Itaqui/RS, pode ser analisado na publicação de Silva e Silva (2013).

As características mencionadas no parágrafo anterior atrelada ao fato que na margem direita, na Argentina, até dezembro de 2021, não havia Levantamento de Seção Transversal até a maior cota observada, são fatos que dificultam o traçado e ajuste do tramo superior (extrapolação) da curva-chave da estação de Itaqui e diminuem a confiabilidade na estimativa das vazões em cotas altas para a localidade. 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. Especificamente na estação Itaqui, 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 Uruguai está em ascensão do seu nível, de modo a se confirmar o fenômeno físico da histerese na localidade. O caso específico do fenômeno físico da histerese, que resulta em curva-chave em “laço”, relatado por esses autores na estação fluviométrica de Itaqui, pode ser primariamente percebido com a elevada dispersão dos dados de vazão em cotas altas, mostrado na Figura 03, e em duas Figuras do Anexo III, quando é plotadas as medições de vazão e as suas cotas. Nota-se, por exemplo, que a maior vazão medida foi de  $15.445\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  na cota 890cm em 03/10/2014, quando o rio Uruguai na localidade estava sob efeito de cheia (cotas ascendentes). Já quando o rio estava sob efeito de vazante (cotas descendentes), mediou-se a vazão de  $11.635\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , com uma cota de 968cm em 09/11/2008, ou seja, mesmo sendo 78cm acima da cota que se mediu a maior vazão desta série histórica estudada, obteve-se uma vazão de  $3.810\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ . Este fenômeno físico, importante para o rio Uruguai na localidade da estação Itaqui, ocorre quando a água no rio, neste ponto, é empurrada por crescentes forças provenientes de montante, o que resultará em um aumento de volume e, por conseguinte, das cotas. Após, acontecerá uma retomada ao nível inicial da água, com uma tendência na relação cota-descarga líquida, de estar acima da curva-chave ascendente no gráfico cartesiano, ou seja, haverá um tramo da curva-chave para cotas altas ascendentes e outro para cotas altas descendentes. Resumindo, o fenômeno físico que provoca a diferença entre os tramos ascendentes e descendentes da curva-chave é chamado de histerese, ou seja, é a diferença de resposta física as forças atuantes, provenientes de montante em uma localidade no rio, quando é estimulado com uma pressão crescente ou decrescente. Para essa localidade de Itaqui no rio Uruguai ( $29^{\circ}07'03''\text{S}$  e  $56^{\circ}33'16''\text{O}$ ), Marcuzzo, Maldonado e Souza (2019) estudam e dissertam com mais detalhes esse fenômeno físico da histerese no traçado e ajuste de curva-chave na fluviometria.

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 Marcuzzo e Melati (2016; 2017), apresenta 28 valores registrados, sendo todos os 28 válidos dentro dos limites estatísticos de Grubbs e Beck (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 287). Conforme se observa na Tabela 01 e na Figura 04, destes 28 valores registrados válidos de cotas máximas DL, em nenhum ano em relação ao total de observações, houve cotas máximas anuais menores que a cota de atenção (630cm), assim sendo, 28 registros, ou seja, 100% dos registros máximos anuais, são superiores a cota de atenção (630cm).

Também se observa que 27 registros, ou seja, 96% do total de 28, são superiores a cota de alerta (730cm) e 20 registros, ou seja, 71%, são superiores a cota de inundação (830cm), considerando as cotas dos boletins do SACE Uruguai em 12/2021.

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	28	% em Relação ao Total
Nº de Anos com Cotas <b>Maiores</b> que Inundação	20	71%
Nº de Anos com Cotas <b>Maiores</b> que Alerta	27	96%
Nº de Anos com Cotas <b>Maiores</b> que Atenção	28	100%
Nº de Anos com Cotas <b>Menores</b> que Atenção	0	0%

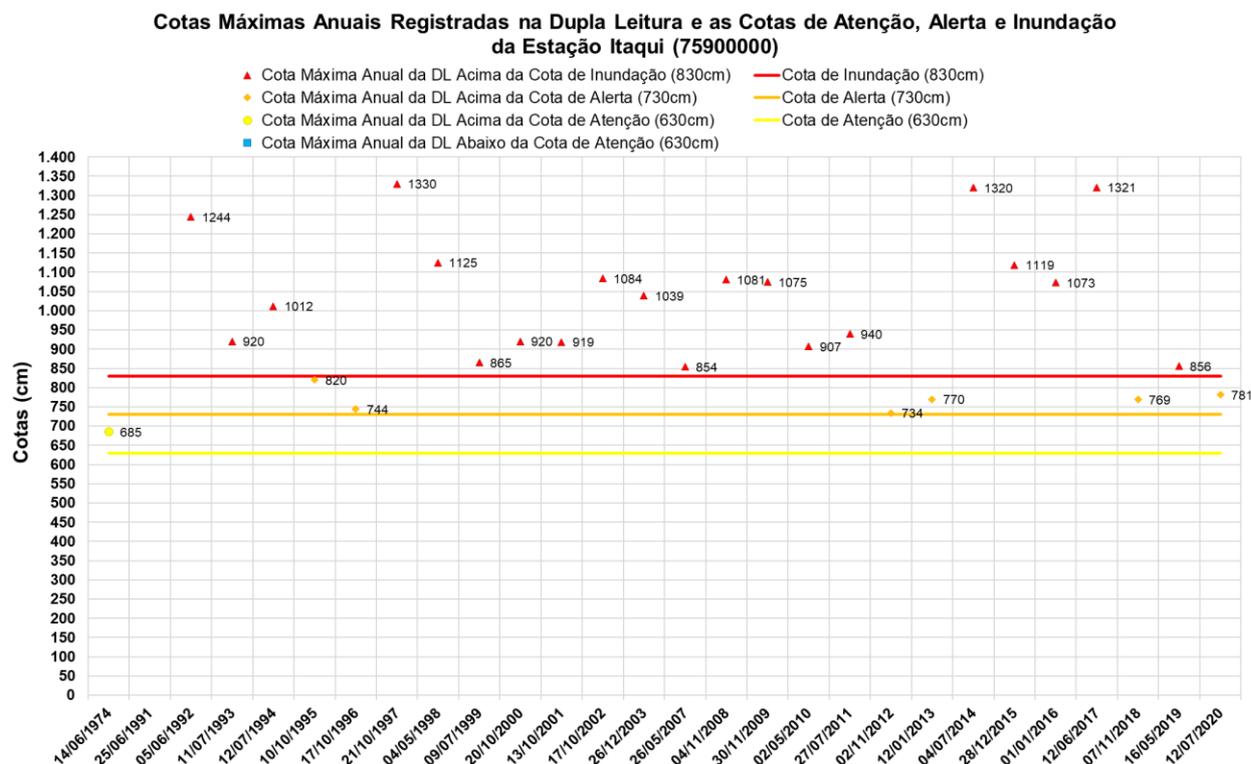


Figura 04 – Cotas máximas anuais registradas nos boletins dupla leitura, e as linhas representando as cotas de atenção, alerta e inundação

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 (GUIMARÃES; FINCK; MARCUZZO, 2017; MARCUZZO; MELATI, 2016; MARCUZZO; MELATI, 2017), tanto na bacia do rio Uruguai (7) como um todo, como em suas sub-bacias (70 a 79), o que impossibilita a determinação de um mês de início e um mês de fim do ano hidrológico.

Até a presente data de elaboração deste relatório, 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, associada ao fato de que o modelo de previsão de cotas do SACE da bacia do rio Uruguai ser por “cota-cota” (até dezembro de 2021), fez com que se optasse pela análise da frequência de cotas máximas e não vazão máxima. Logo a montante e a jusante da estação Itaqui (75900000), em Pinto e Marcuzzo (2022a,b), na própria calha principal do rio Uruguai, pode-se verificar e comparar os resultados de análise de frequência de cotas máximas nas estações Passo São Borja (75780000) e Uruguiana (77150000). O rio Ibicuí, que forma a maior sub-bacia do rio Uruguai, desemboca no rio Uruguai logo a jusante da estação fluviométrica Itaqui. A confluência dos rios Santa Maria e Ibicuí-Mirim forma o rio Ibicuí que, junto com o rio Santa Maria é o rio principal da sub-bacia 76, que é a maior sub-bacia do rio Uruguai (KOEENDER, 2015; KOEENDER; MARCUZZO, 2015, 2016a,b).

Ressalta-se e sublinha-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. 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).

## 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 Uruguai em Itaqui, código 75900000, 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 (MARCUIZZO; MELATI, 2016, 2017). Neste Anexo IV também são apresentados alguns endereços eletrônicos, disponíveis na Internet, de alguns eventos de cheia registrados, em vídeos, da cidade de Itaqui/RS. A distribuição de frequência selecionada foi a Log-Normal (Anexo II). As estatísticas da série de dados, e os parâmetros calculados pelo Método dos Momentos-L, são apresentados no Anexo 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 05 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas.

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

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

Em que:

$T$  é o tempo de retorno (anos);

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

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

$\mu$  é o parâmetro de posição (6,85435);

$\sigma$  é o parâmetro de escala (0,20067).

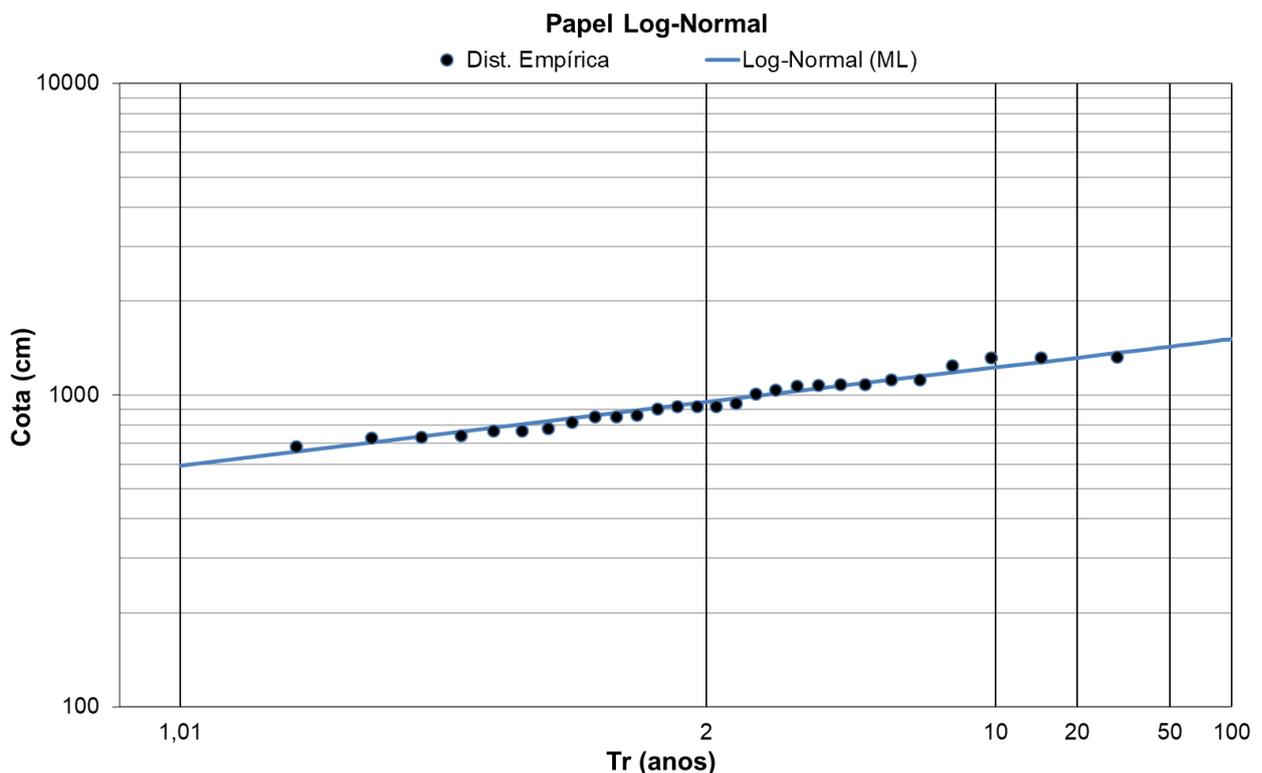


Figura 05 – Ajuste das distribuições empírica e teórica

A equação 01 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 100 anos. A Tabela 02 apresenta as cotas associadas a diferentes tempos de retorno da estação Itaqui (75900000) pelo modelo de distribuição de frequência Log-Normal com o Método de Momentos-L.

Tabela 02 – 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)	948	1122	1226	1281	1319	1347	1370	1405	1431	1453	1479	1500	1512

## 4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) No dia 18/07/1983 o rio Uruguai, no município de Itaqui/RS, na estação fluviométrica de mesmo nome e código 75900000, alcançou a cota de 1.452cm. 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 1.452cm, o parâmetro de posição é  $\mu = 6,85435$ , e o de escala é  $\sigma = 0,20067$ . Substituindo os valores na equação 02 temos:*

$$Z_{\left(1-\frac{1}{T}\right)} = \frac{(\ln(1452) - 6,85435)}{0,20067} = 2,12462$$

*Levando o valor 2,12462 em uma tabela de Inversa da Distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMP.N do Excel obtém-se:  $P(Z \leq 2,12462) = 0,98319$ .*

*O tempo de retorno será:*

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

$$T = \frac{1}{1 - 0,98319} = 59,49 \text{ anos}$$

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

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

$$P(x_T \geq 1.452\text{cm}) = \frac{1}{59,49} 100 = 1,68\%$$

*O tempo de retorno de 59,49 anos, corresponde a probabilidade de 1,68% da cota 1.452cm ser igualada ou superada em um ano qualquer.*

- b) Qual é o tempo de retorno da cota de atenção em Itaqui (código 75900000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de atenção em Itaqui, código 75900000, em 12/2021, é 630cm. 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 1,02 anos. A probabilidade da cota de 630cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 98,04%.*

- c) Qual é o tempo de retorno da cota de alerta em Itaqui (código 75900000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de alerta em Itaqui, código 75900000, em 12/2021, é 730cm. 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 1,11 anos. A probabilidade da cota de 730cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 90,09%.*

- d) Qual é o tempo de retorno da cota de inundação em Itaqui (código 75900000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de inundação em Itaqui, código 75900000, em 12/2021, é 830cm. 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 1,34 anos. A probabilidade da cota de 830cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 74,63%.*

- e) Uma agroindústria será instalada no município de Itaqui as margens do rio Uruguai. Considerando a transposição das cotas das réguas da estação Itaqui (código 75900000), até o local de sua instalação, verificou-se que a agroindústria terá sua base instalada na cota 1.510cm (1.452cm na estação Itaqui, em 18/07/1983, mais 4%). 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 Uruguai em um ano qualquer?

Resposta: *Substituindo a cota de 1.510cm e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 98,23 anos. A probabilidade da cota de 1.510cm, na base da instalação da agroindústria, ser igualada ou superada pelo rio Uruguai, em um ano qualquer, é de 1,02%.*

Nota-se, nestes exemplos de aplicação, que os tempos de retornos para as cotas de atenção, com 1,02 anos para 630cm, de alerta, com 1,11 anos para 730cm, e de

inundação, com 1,34 anos para 830cm, são curtos, ou seja, há uma grande frequência, quase que praticamente anual, que há emissão de boletins pelo SACE Uruguai 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 28 valores registrados e válidos de cotas máximas oriundas dos boletins dupla leitura, em 1974 e entre os anos de 1991 a 2003 e 2007 a 2020, em nenhum ano em relação ao total de observações das cotas máximas, possuem dados anuais menores que a cota de atenção (630cm), ou seja, os 28 registros são superiores a cota de atenção (630cm) do SACE Uruguai no mês de dezembro de 2021.

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.*

## 5 – REFERÊNCIAS

A ENCHENTE. [s.l.: s.n.], 2013. 1 vídeo (6 min.). Publicado por Fernando Bruno Sanhotene. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Wrq7AtT6Kyk>. Acesso em: 16 set. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). Bacia do Rio Uruguai. *In*: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Bacias brasileiras do rio da Prata**: avaliação e propostas. [Brasília]: ANA, 2001. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12283366-Bacias-brasileiras-do-rio-da-prata-avaliacoes-e-propostas.html>. Acesso: 05 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Hidroweb**: inventário.zip. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download>. Acesso em: 10 set. 2021.

ALMEIDA, D. B.; KOEFENDER, A.; SOUZA, C. J. R.; MARCUZZO, F. F. N. Diagramas unifilares e mapeamento das estações F, FD, P, Pr e barramentos das sub-bacias 70 a 74 no Rio Uruguai. *In*: SIMPÓSIO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2016. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17189>. Acesso em: 10 nov. 2021.

BOLETIM DAS CHEIAS DO RIO URUGUAI... Itaqui, RS Quarta-feira dia 07/06/17. Itaqui, RS: Itaqui na Rede, 2017. 1 vídeo (11,39 min.). Publicado pelo Canal Itaqui na Rede. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KEDk1XQTY7M>. Acesso em: 13 set. 2021.

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 mar. 2021.

CHEIA DO RIO URUGUAI – ITAQUI 2014. [s.l.]: Unigaia Vídeos e Tutoriais, 2014. 1 vídeo (4,16 min.) Publicado por Unigaia Vídeos e Tutoriais. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=mY\\_ieZi5V6E](https://www.youtube.com/watch?v=mY_ieZi5V6E). Acesso em: 13 set. 2021.

FINCK, J. S. **Estudo preliminar de sistema de alerta para a parte brasileira da bacia do rio Uruguai utilizando modelo de previsão cota-cota**. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, p. 104. 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/179893>. Acesso em: 01 dez. 2021.

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.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Espacialização Pluviométrica da Precipitação Média Mensal na Parte Brasileira da Bacia do Rio Uruguai. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29.; ENCONTRO TÉCNICO AESABESP, 28.; FEIRA NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 28., 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABES; AESABESP, 2017. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18201>. Acesso em: 02 mar. 2021.

HOELZEL, M.; LAMBERTY, D. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa:** Uruguiana, Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20144>. Acesso em: 04 mar. 2021.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis:** an approach based on L - moments. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529443>. 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 jul. 2021.

KOEFENDER, A. Regionalização das vazões Q95%, Q50% e Q7,10 da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. 2015. 120 f. **TCC (Graduação)** - Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/40514>. Acesso em: 13 set. 2021.

KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Análise de diferentes MDE no cálculo de área de drenagem e perímetro de estações fluviométricas na Sub-Bacia 76. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15051>. Acesso em: 14 set. 2021.

KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo da delimitação automática das sub-bacias do Rio Ibicuí na Bacia do Rio Uruguai utilizando diferentes MDT. *In*: SIMPÓSIO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2016a. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17193>. Acesso em: 16 set. 2021.

KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Modelo e conceituação de diagrama unifilar de bacia hidrográfica: o caso da sub-bacia 76. **Revista de Geografia**, Recife, v. 33, n. 3, p. 201-229, 2016b. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17524>. Acesso em: 14 set. 2021.

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. Bacia hidrográfica do rio Uruguai: altimetria e áreas. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais[...]** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18489>. Acesso em: 03 mar. 2021.

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. 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: 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. Caracterização da precipitação pluviométrica mensal nas sub-bacias pertencentes à Bacia do Rio Uruguai. *In*: SIMPÓSIO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. **Anais[...]** Aracaju: ABRH, 2016. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17183>. Acesso em: 06 mar. 2021.

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, 2017. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17854>. Acesso em: 06 mar. 2021.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas dos Sistemas de Alerta**: Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai; rio Uruguai, estação fluviométrica Passo São Borja, código 75780000, município atendido São Borja, RS. Porto Alegre: CPRM, 2022. 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/22858>.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas dos Sistemas de Alerta**: Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai; rio Uruguai, estação fluviométrica Uruguaiana, código 77150000, município atendido Uruguaiana, RS. Porto Alegre: CPRM, 2022. 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/22872>.

MARCUZZO, F. F. N.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA D. B. Bacia hidrográfica internacional do rio Uruguai e consistência dos seus divisores de água na escala 1:3.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48., 2016, Porto Alegre. **Anais[...]** São Paulo: SBG, 2016. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17127>. Acesso em: 03 mar. 2021.

MATTIUZI, C. D. P.; BUFFON, F. T. **Sistema de alerta hidrológico da Bacia do rio Uruguai**: relatório anual 2020. Porto Alegre: CPRM, 2020. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21922>. Acesso em: 03 mar. 2021.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo de perfis de estações fluviométricas: transcrições de campo, ajustes de escritório e efeito nos atributos hidráulicos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12., Natal. **Anais...** Natal: ABRH, 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17448>. Acesso em: 13 nov. 2021.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Influência da altitude na precipitação média anual nas sub-bacias pertencentes à Bacia do Rio Uruguai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15056>. Acesso: 13 nov. 2021.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Mapeamento fisiográfico básico das sub-bacias pertencentes à Bacia do Rio Uruguai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais[...]** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15053>. Acesso em: 03 mar. 2021.

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 set. 2021.

PEDROLLO, M. C. R.; SOTÉRIO, P. W.; GERMANO, A. de O. Estudo técnico para instalação e operação de um sistema de alerta hidrológico na bacia do rio Uruguai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18892>. Acesso em: 03 mar. 2021.

PEIXOTO, C. A. B.; HOEZEL, M. **Setorização de áreas em alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações**: São Borja, Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21389>. Acesso em: 05 mar. 2021.

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. (coord.). **Atlas pluviométrico do Brasil**: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília, DF: CPRM, 2011. Escala 1.5:000.000. Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. 1 DVD. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique///Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: 16 Jul. 2021.

SILVA, D. R. da; SILVA, P. R. da. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes**: Alegrete, RS. Porto Alegre: CPRM, 2013. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20084>. Acesso em: 05 mar. 2021.

SILVA, D. R. da; SILVA, P. R. da. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes**: Itaqui, RS. Porto Alegre: CPRM, 2013. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20111>. Acesso em: 05 mar. 2021.

SILVA, P. R. da; SILVA, D. R. da. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes**: Rosário do Sul, RS. Porto Alegre: CPRM, 2012. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20134>. Acesso em: 05 mar. 2021.

SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA, D. B.; KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Diagramas unifilares e mapeamento das estações F, FD, P, PR e barramentos das Sub-bacias 75 a 79 no rio Uruguai. **Revista Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 21, n. 2, p. 65-74, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17839>. Acesso em: 15 set. 2021.

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

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.

## ANEXO I

Ficha Descritiva, Ficha Complementar e Croqui  
Estação Fluviométrica de Itaqui, código 75900000

## FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

### Identificação

Código:	75900000	Estação:	ITAQUI	Tipo:	FDQT
Região hidrográfica:	Rio Uruguai			Sub-bacia:	72
Bacia:	RIOS URUGUAI				
Município:	Itaqui	Estado:	RS	Roteiro:	96
Latitude:	-29.1270	Longitude:	-56.5620	Altitude (m):	43
Instrumento:	GPS	Datum:	WGS 84		
Área de dren. (km <sup>2</sup> ):	131000	Instalada em:	01/12/1939	Extinta em:	
Coordenador:	ANA	Operador:	CPRM - SUREG/PA		
Código da folha:	2731	Nome da folha:			
Orgão executor:		Ano:		Escala:	1:100.000

### Localização

- A estação localiza-se no Passo do rio Uruguai para Argentina, em Itaqui.

### Acessibilidade

- Pela avenida que liga o Passo para a Argentina no rio Uruguai (balsa na Receita Federal).

### Seção de réguas

Margem: Margem esquerda

Réguas: 0-100, 100-200, 200-300, 300-400, 400-500, 500-600, 600-700, 700-800, 800-900, 900-1000, 1000-1100, 1100-1200, 1200-1300, 1300-1400 e 1400-1500

SM1 = localizada na seção de réguas

SM2 = 450m a jusante da seção de réguas

SM3 = 650m a jusante da seção de réguas

### Referências de nível

RN01 = 10201

RN03 = 6394

RN04 = 8963

RN05 = 9425

## FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

### Seções e processos de medição

SM1 = localizada na seção de réguas  
SM2 = 450m a jusante da seção de réguas  
SM3 = 650m a jusante da seção de réguas

Processo de medição: Barco

Equipe:

Data: 29/05/2021

Estação: ITAQUI

Código: 75900000

### Potamografia

#### Características do trecho

Regime: Perene                      Conformação: Retilínea                      Fundo: Regular

#### Posição em relação à rede

Montante:

Jusante:

#### Natureza e inclinação das margens

Esquerda: Baixa                      Argilosa com Vegetação de Médio Porte  
Direita: Baixa                      Argilosa com Vegetação de Médio Porte

#### Leito

Natureza: Argilosa Sem Vegetação

#### Controle

Controle: Canal                      Localização: - A estação                      Distância

#### Observador

Nome:		Apelido:	
Endereço:		Complemento:	
Bairro:		Município:	Itaqui
Estado:	Rio Grande do Sul	CEP:	
Telefone fixo:		Celular:	
Autorizado:		Apelido:	
Endereço:		Complemento:	
Telefone fixo:		Celular:	
Leiturista:			

Observações

Equipamentos

---

Equipe:

Estação: ITAQUI

Data: 29/05/2021

Código: 75900000

---

## ROT 98 - Itaqui - 75900000/02956005 - PFDQT

### Objetivos do monitoramento

A estação fluviométrica Itaqui está instalada no rio Uruguai, na área urbana da cidade de mesmo nome, localizada a montante da estação Uruguiana e a jusante da estação Passo São Borja. Dentro da rede hidrometeorológica nacional de referência, os objetivos deste ponto de monitoramentos são:

- Eventos hidrológicos críticos.
- Balanços e disponibilidades hídricas.
- Mudanças e tendências de longo prazo.
- Qualidade da água.

### Características físicas da estação

A estação automática está a cerca de 60 m do lance de réguas 7-8, próximo do antigo prédio da aduana de Itaqui. A PCD está alocada em poste com 10 metros de altura, a estrutura é dotada de escada com guarda corpo e plataforma, sendo necessária uma chave de cadeado padrão para abertura da grade de acesso. O pluviômetro automático de balança está instalado no mesmo suporte da caixa da PCD, junto das antenas e painel solar. O sensor de nível é do tipo capacitivo e a parte subterrânea da instalação foi feita com tubulação de PVC soldável de 75 mm enterrada, a porção final é feita com tubo galvanizado fixada no leito com cantoneiras de aço. A limpeza e manutenção do sensor de nível podem ser feitas acessando através da caixa de passagem que está à aproximadamente 30m da estrutura de suporte da PCD.

### Medição de descarga

A medição de descarga é realizada de forma embarcada, com medidor acústico do tipo M9, em seção localizada 400 metros a jusante da seção de réguas.

### Controle

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

### Cota H<sub>0</sub>

Não aplicável.

### Referências de Nível

- RN3 6394;
- RN4 8963;
- PAX - 6341.

### Descrição dos equipamentos

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

Instalação da telemétrica: 2014

Padrão de conexão: militar

ID GOES: B567B594, canal primário: 61, horário de transmissão: 00:26:30, janela de transmissão: 10s;

Modem Omnisat 2º geração (preto);

Chave TASCOS para acessar PCD;

Fabricante: Hobeco/Vaissala;

DataLogger: QML201C;

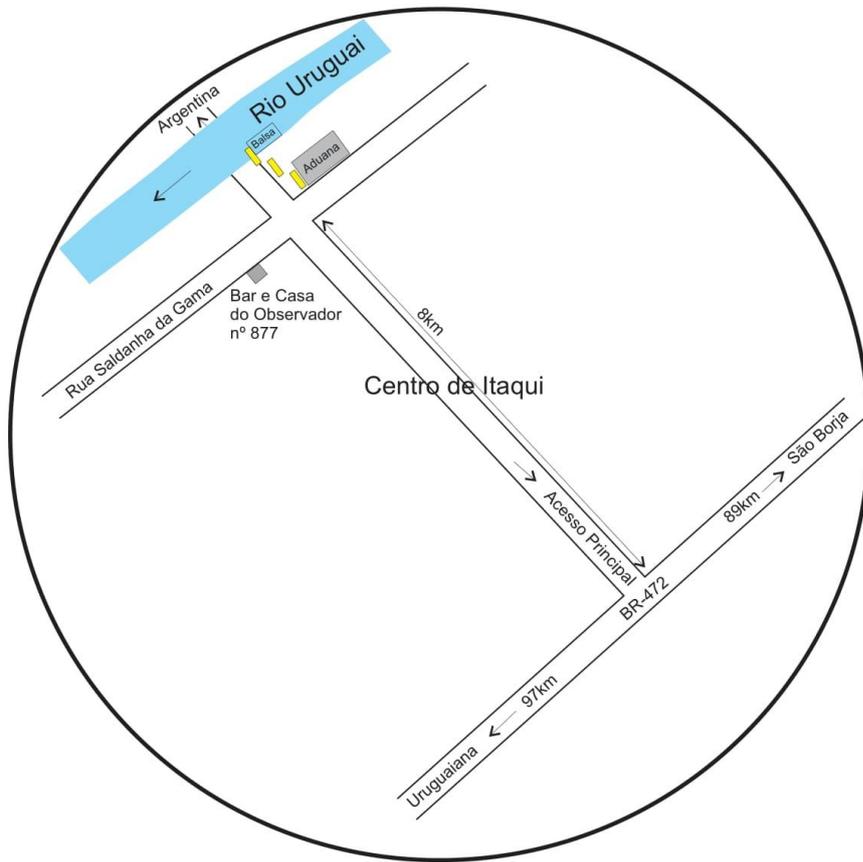
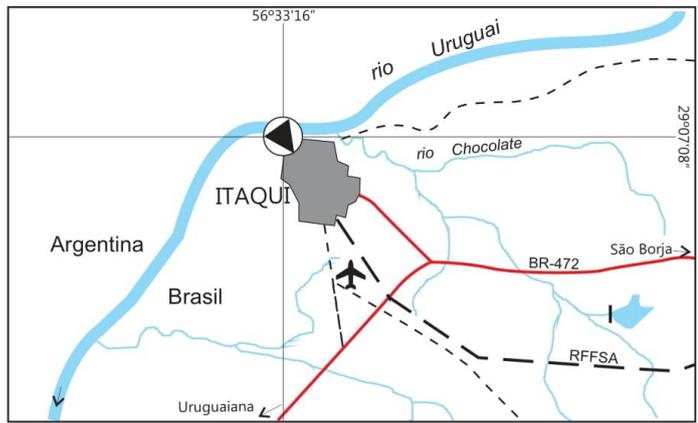
Bateria (12V e 18 Ah);

Sensor de nível capacitivo Keller 46x;

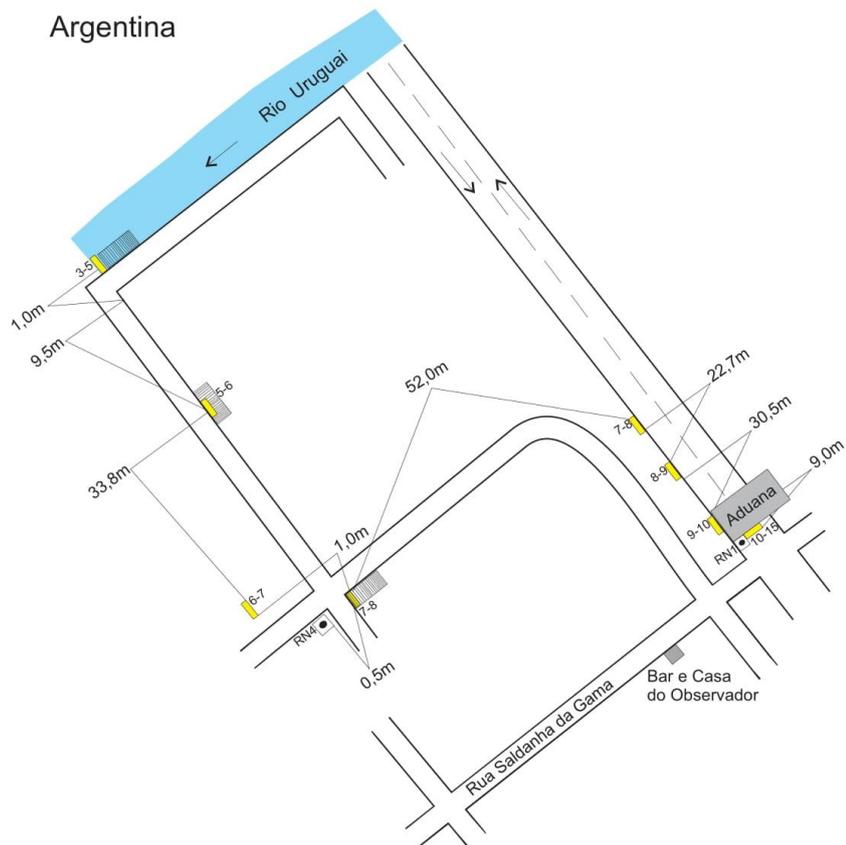
Cabo de comunicação militar - serial e conversor serial-USB;

Chave allen (desmontar capa do pluviômetro);

Número de patrimônio ANA: 25605



LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO  
ITAQUI  
30/10/2013



RN3 = 6394  
 RN4 = 8963

RIO URUGUAI EM ITAQUI  
 23/02/2011

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

## ANEXO II

### DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

- Função Densidade de Probabilidade

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

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

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

- Função Acumulada de Probabilidades

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

- Inversa da função acumulada

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

- Momentos L

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

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

- Estimativa dos parâmetros pelos momentos-L

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

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

Fonte: Hosking e Wallis (1997).

## ANEXO II

### DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL

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

### DISTRIBUIÇÃO NORMAL

- Função Densidade de Probabilidade

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

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

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

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

- Função Acumulada de Probabilidades

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

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

- Inversa da função acumulada

$x(F)$  não possui forma analítica

- Momentos-L

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

- Estimativa de parâmetros pelos momentos-L

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

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

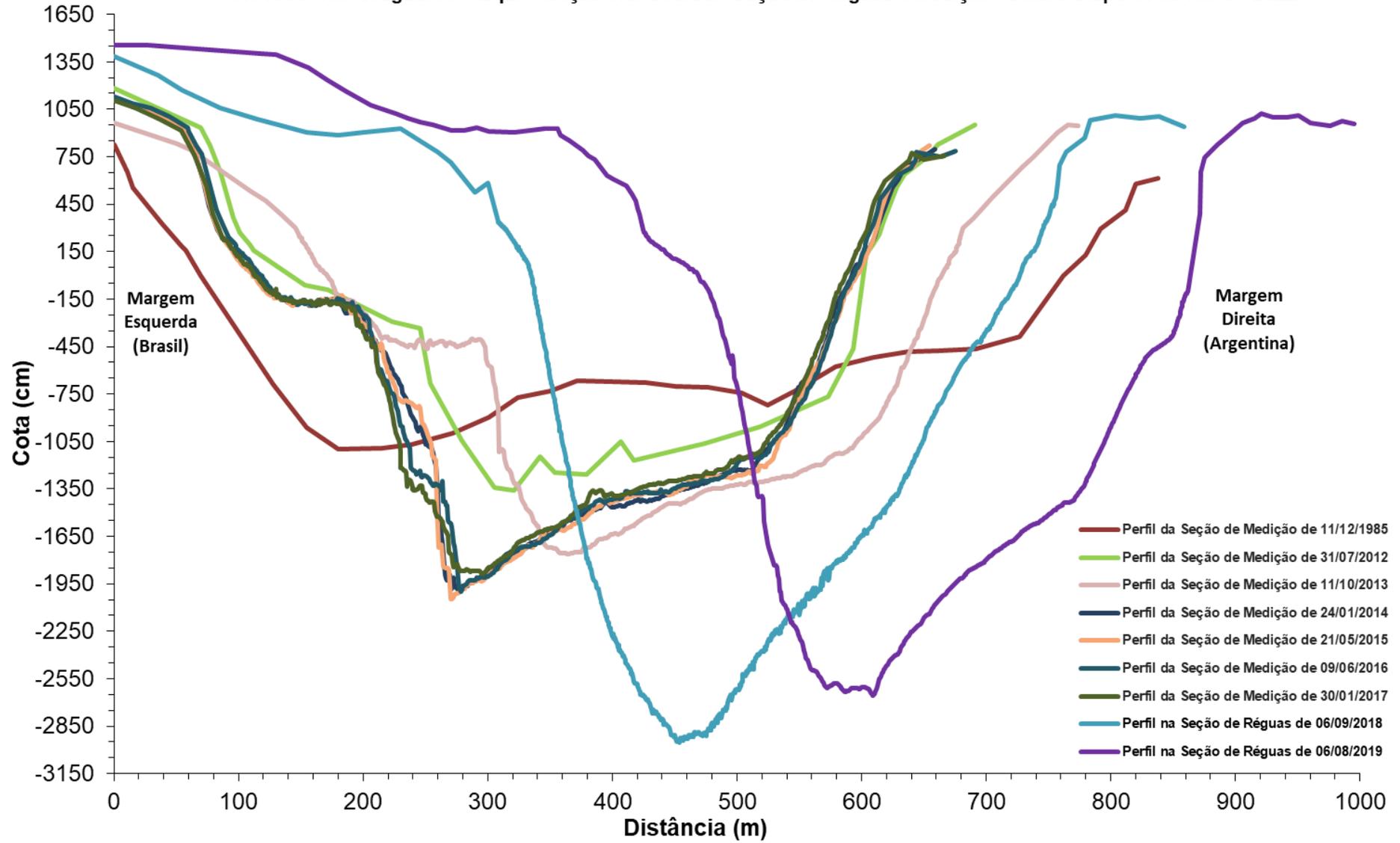
Fonte: Hosking e Wallis (1997).

### ANEXO III

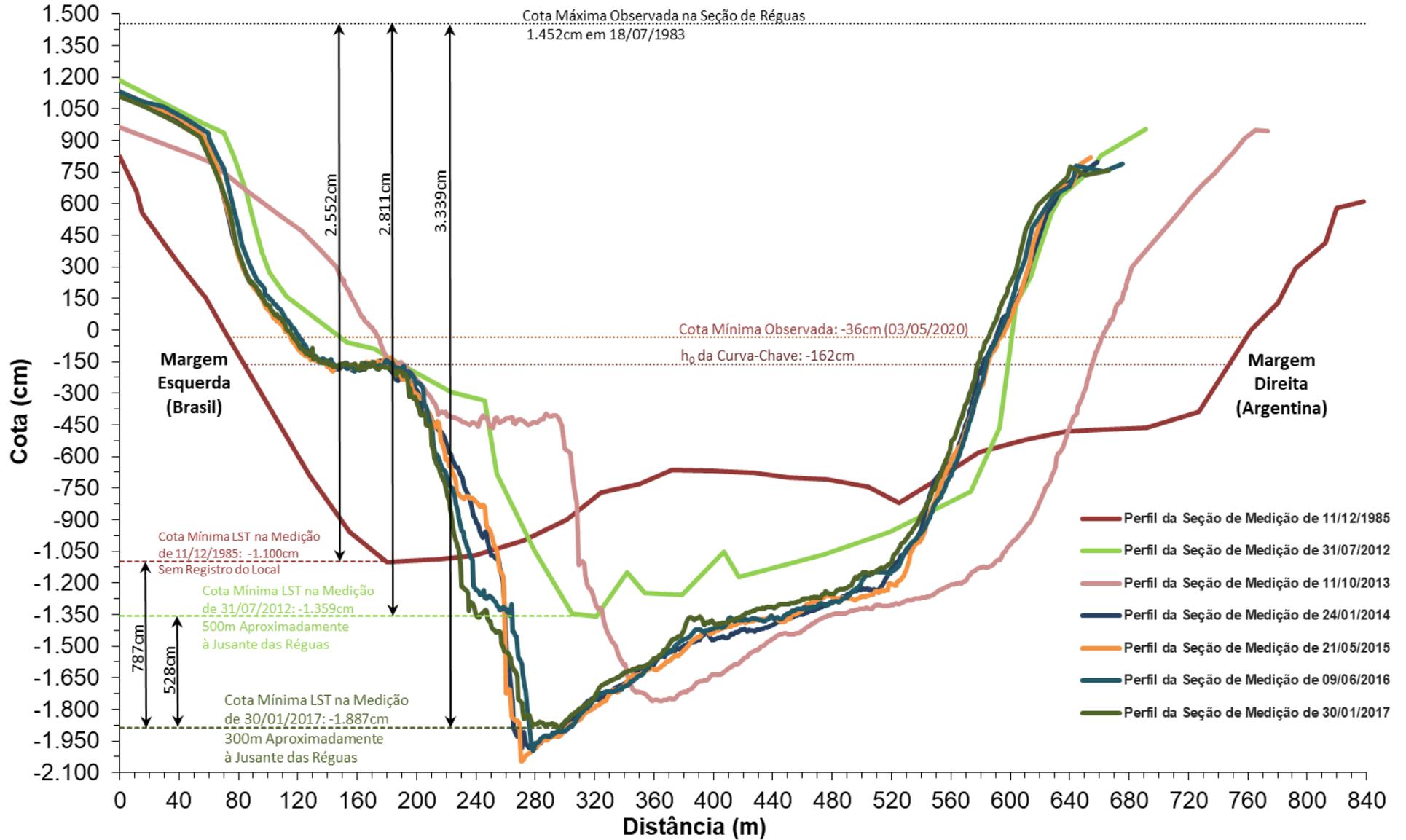
Levantamentos de Seção Transversal – Seção de Réguas e Seção de Medição  
Relação da Área Molhada ( $m^2$ ) com a Vazão ( $m^3.s^{-1}$ ) e a Cota (cm)

### ANEXO III

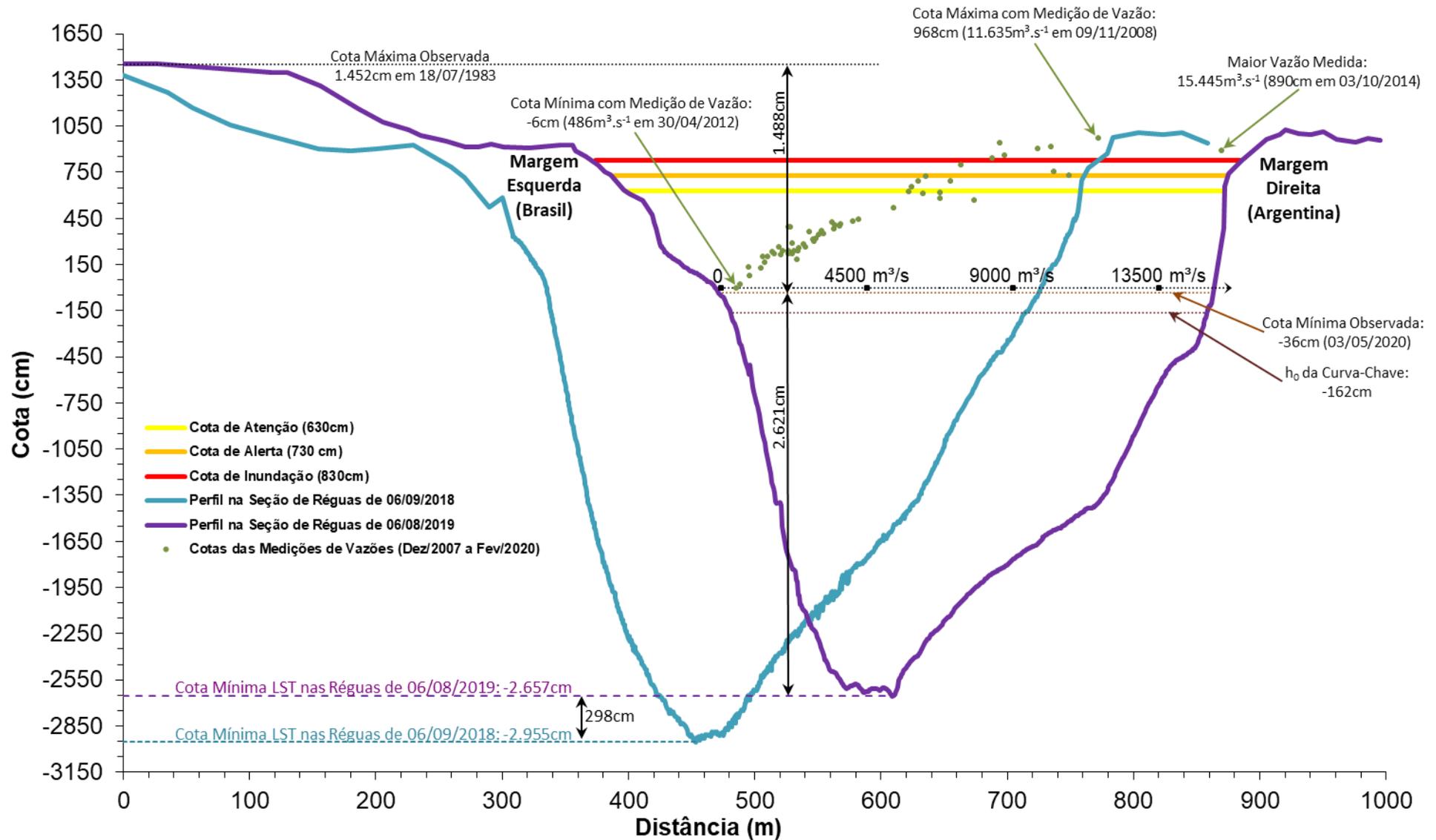
Levantamentos Históricos de Seção Transversal – Disponíveis em dezembro de 2021 – Seção de Réguas e Seção de Medição  
75900000 - Rio Uruguai em Itaqui - Seção Transversal - Seção de Réguas e Medição - Dados Disponíveis Até 01/2022



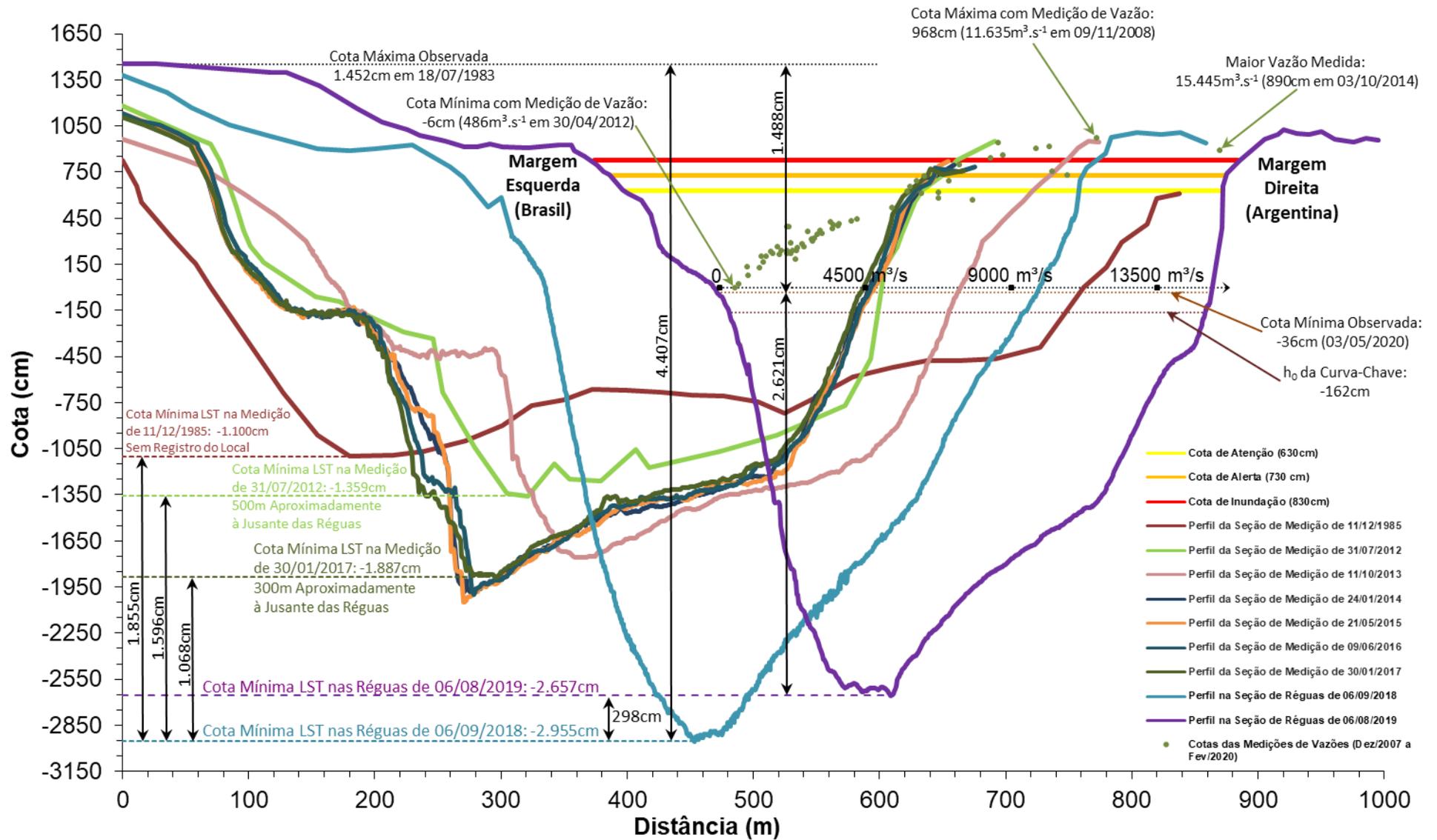
75900000 - Rio Uruguai em Itaqui - Seção Transversal - Seção de Medição - Dados Disponíveis Até 01/2022



75900000 - Rio Uruguai em Itaqui - Seção Transversal - Seção de Réguas - Dados Disponíveis Até 01/2022



### 75900000 - Rio Uruguai em Itaqui - Seção Transversal - Seção de Réguas e Medição - Dados Disponíveis Até 01/2022



# Levantamento de Seção Transversal (LST) - Seção de Réguas e Seção de Medição

Posicionamento dos LSTs aproximados segundo arquivos disponíveis até 12/01/2022

Clique AQUI para baixar os arquivos KMZ.

Clique AQUI para baixar as Figuras de localização.



Data do LST	Tipo de Seção	Resumo das Observações Sobre os LSTs Disponíveis Até 12/01/2022
11/12/1985	Medição	SM=1
31/07/2012	Medição	500m a Jusante das Réguas.
11/10/2013	Medição	SM1 = Seção de réguas; NA da medição = NA do LST = 299 cm (ME e MD).
24/01/2014	Medição	SM = 400 m à jusante das réguas aproximadamente, NA da medição = 238 cm (ME e MD); NA do LST = 239 cm (ME e MD).
21/05/2015	Medição	SM = 300 m à jusante das réguas aproximadamente, NA da medição = NA do LST = 162 cm (ME e MD).
09/06/2016	Medição	SM = 400 m à jusante das réguas aproximadamente, NA da medição = NA do LST = 238 cm (ME e MD).
30/01/2017	Medição	SM = 300 m à jusante das réguas aproximadamente, NA da medição = NA do LST = 288 cm (ME e MD).
06/09/2018	Régua	SM1-SR - Na MD não é possível levantar mais pois a continuação é aterro no lado Argentino. NA da medição = 586 cm (ME) e 584 cm (MD). NA do LST = 582 cm (ME e MD).
06/08/2019	Régua	SM1-SR - Na MD não é possível levantar mais pois a continuação é aterro no lado Argentino. NA da medição = 390 cm (ME) e 391 cm (MD). NA do LST = 386 cm (ME e MD).



### ANEXO III

Relação da Área Molhada (m<sup>2</sup>) com a Vazão (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) e a Cota (cm) como descrito em Melati e Marcuzzo (2014)

Clique [AQUI](#) para baixar as informações abaixo. *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.*

Registros de Cotas	Cota (cm)	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) <sup>A</sup>	Data	<sup>1</sup> S (m <sup>2</sup> )	<sup>2</sup> P (m)	<sup>3</sup> L (m)	<sup>4</sup> R (m)	<sup>5</sup> Hm (m)	<sup>1</sup> S (%)	<sup>2</sup> P (%)	<sup>3</sup> L (%)	<sup>4</sup> R (%)	<sup>5</sup> Hm (%)	S / Q	S / Cota
Maior Observada da LM	1.452	21.269	18/07/1983	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	
Maior Observada da DL	1.330	18.725	21/10/1997	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	
Menor Observada	-36	316	03/05/2020	6.030	398	390	15,2	15,4	56,6%	59,6%	59,5%	79,9%	79,6%	19,08	-167,51
Maior com MDL**	968	11.635	09/11/2008	10.663	668	656	16,0	16,3	100,0%	100,0%	100,0%	84,3%	83,8%	0,92	11,02
Menor com MDL	-6	486	30/04/2012	6.148	400	392	15,4	15,7	57,7%	59,9%	59,8%	81,2%	80,8%	12,65	-1024,64
Cota de Inundação***	830	9.213	13/01/2022	9.929	527	516	18,8	19,3	93,1%	78,9%	78,6%	99,4%	99,3%	1,08	11,96
Cota de Alerta***	730	7.684	13/01/2022	9.425	497	486	19,0	19,4	88,4%	74,5%	74,1%	100,0%	100,0%	1,23	12,91
Cota de Atenção***	630	6.318	13/01/2022	8.943	484	475	18,5	18,8	83,9%	72,5%	72,4%	97,5%	97,1%	1,42	14,20
h <sub>0</sub> da Curva-Chave	-162	0	13/01/2022	5.547	385	377	14,4	14,7	52,0%	57,6%	57,5%	76,1%	75,8%	-	-34,24
Profundidade na SR	-1.000	-	-	2.765	295	290	9,4	9,5	25,9%	44,1%	44,2%	49,5%	49,1%	-	-2,76
Profundidade na SR	-1.500	-	-	1.429	234	231	6,1	6,2	13,4%	35,0%	35,2%	32,2%	31,9%	-	-0,95
Profundidade na SR	-2.000	-	-	525	135	133	3,9	3,9	4,9%	20,2%	20,3%	20,6%	20,3%	-	-0,26
Profundidade na SR	-2.500	-	-	52	55	55	0,9	1,0	0,5%	8,2%	8,3%	5,0%	4,9%	-	-0,02
Menor do LST de 2019	-2.657	-	06/08/2019	0	0	0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-	0,00
Menor do LST de 2018	-2.995	-	06/09/2018	0	0	0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-	0,00

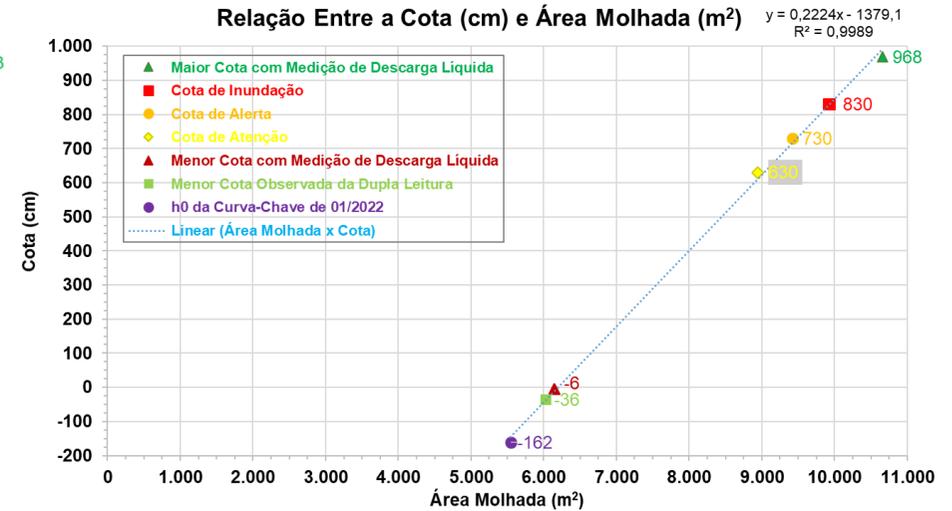
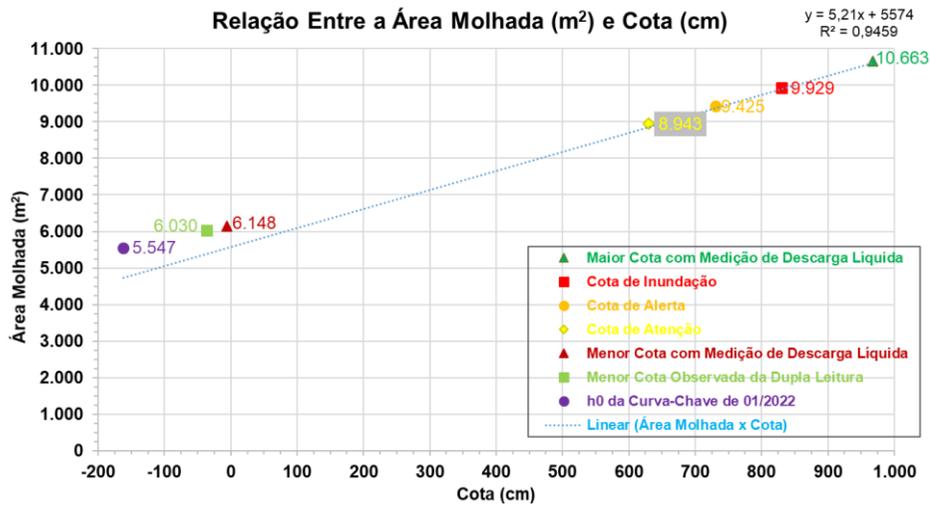
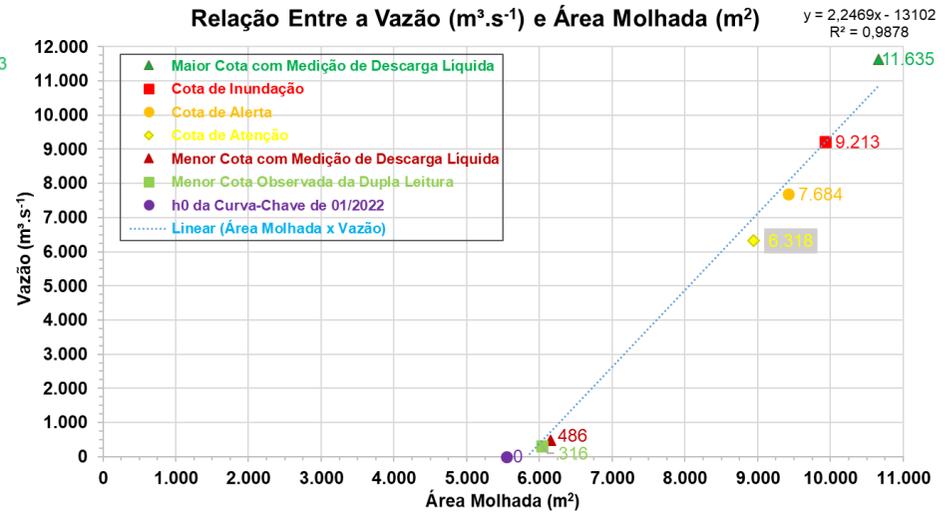
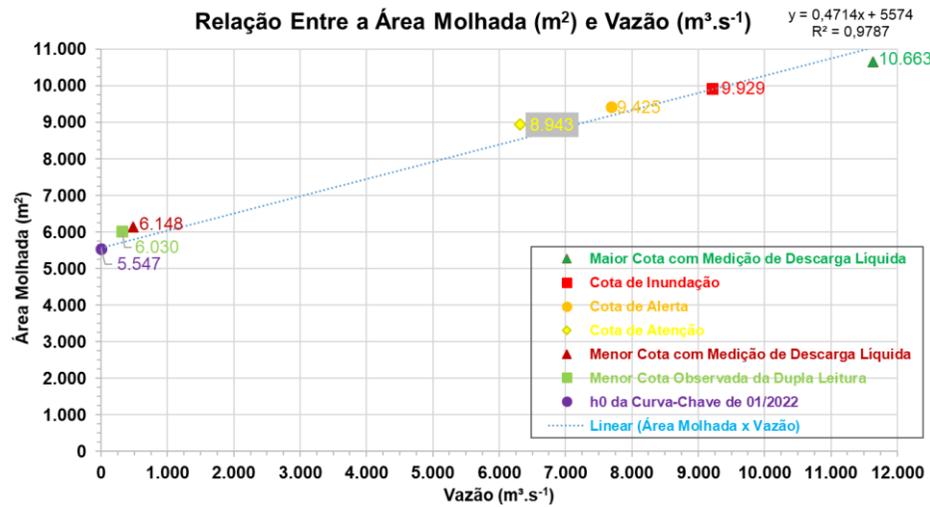
<sup>A</sup> Excluindo-se as vazões "com MDL", nas cotas 968 e -6cm, as demais foram calculadas a curva-chave disponível em 31/12/2021. Tramo 1: a=216,22; h<sub>0</sub>=-1,62; n=1,64; Cotas de -162 a 479cm. Tramo 2: a=11,9565; h<sub>0</sub>=-5,98; n=2,5; Cotas de 479 a 968cm. Tramo 3: a=884,2909; h<sub>0</sub>=1,89; n=1,254; Cotas de 968 a 1.452cm.

<sup>1</sup>S - Área Molhada (m<sup>2</sup>). <sup>2</sup>P - Perímetro Molhado (m). <sup>3</sup>L - Largura Superficial (m). <sup>4</sup>R - Raio Hidráulico (m). <sup>5</sup>Hm - Profundidade Média (m).

Os parâmetros hidráulicos foram calculados pelo programa HIDRO conforme os dados do LST na SR de 06/08/2019.

\* Parâmetros hidráulicos da seção não calculados, devido a limitação do LST na margem direita que não chega até a respectiva cota na sua maior distância horizontal.

\*\* Considerou-se os parâmetros hidráulicos da seção calculados na cota 960cm, que é a maior possível, devido a limitação do LST na margem direita que não chega até a cota 968cm na sua maior distância horizontal.



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 (MARCUIZZO e MELATI, 2016, 2017). Parte dos dados abaixo foram recuperados por meio do trabalho projetado e executado por Naitzel, Goldenfum e Marcuzzo (2020).

Nº	Data do Registro	Cota (cm)	Observações
1	14/06/1974	685	*DL
2	25/06/1991	730	DL
3	05/06/1992	1244	DL
4	11/07/1993	920	DL
5	12/07/1994	1012	DL verificado também com boletim
6	10/10/1995	820	DL verificado também com boletim
7	17/10/1996	744	DL verificado também com boletim
8	21/10/1997	<b>**1330</b>	DL verificado também com boletim. Maior valor da série estudada.
9	04/05/1998	1125	DL verificado também com boletim
10	09/07/1999	865	DL verificado também com boletim
11	20/10/2000	920,01	DL. Foi acrescentado 0,01 cm para a aba ORG-DADOS organizar em ordem crescente as máximas
12	13/10/2001	919	DL
13	17/10/2002	1084	DL
14	26/12/2003	1039	DL
15	26/05/2007	854	DL
16	04/11/2008	1081	DL
17	30/11/2009	1075	DL
18	02/05/2010	907	DL
19	27/07/2011	940	DL
20	02/11/2012	734	DL
21	12/01/2013	770	DL verificado também com boletim
22	04/07/2014	1320	DL
23	28/12/2015	1119	DL verificado também com boletim
24	01/01/2016	1073	DL verificado também com boletim
25	12/06/2017	1321	DL
26	07/11/2018	769	DL
27	16/05/2019	856	DL
28	12/07/2020	781	DL

Valores obtidos através da análise do gráfico de cotas com o apoio das estações 75780000 (Passo São Borja) e 77150000 (Uruguaiana) para anos completos (com todos os dados de cota preenchidos e todas as estatísticas calculadas) e sem boletim escaneizado.

Valores obtidos através da análise do gráfico de cotas com o apoio das estações 75780000 (Passo São Borja) e 77150000 (Uruguaiana), pois faltaram dados de cota dupla leitura em alguns meses e as estatísticas não foram calculadas para todos os meses do ano (anos incompletos).

Valores conferidos através da **análise dos boletins** de dupla leitura de cotas (para **anos completos** com todas as estatísticas calculadas).

Valores obtidos através da análise do gráfico de cotas com o apoio das estações 75780000 (Passo São Borja) e 77150000 (Uruguaiana) e do boletim escaneado de dupla leitura de cotas - para anos completos (com todos os dados de cota preenchidos e todas as estatísticas calculadas).

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

\*\* Atenção: A maior cheia histórica, até a presente data (12/2021), registrada na estação Itaqui (75900000), foi em 18/07/1983, quando alcançou a cota de 1.452cm, considerando os dados do banco de cotas médias. Também considerando os dados do banco de cotas médias, a segunda maior cheia histórica foi em 11/06/1990, quando alcançou a cota de 1.360cm. Contudo estes dois dados não puderam ser utilizados pois foram obtidos dos dados de cotas médias e, os dados de cotas dupla leitura, que foram os utilizados neste estudo, não foram encontrados para estes anos específicos. A cota de 1.330cm, alcançada em 21/10/1997, que possuía os dados de dupla leitura, foi a terceira maior cota registrada, até a presente data, considerando os bancos de dados de cotas médias e cotas dupla leitura.

## ANEXO IV

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

Vídeos na INTERNET registrando cheias na bacia do rio Uruguai em Itaqui/RS.

1. A ENCHENTE: <https://www.youtube.com/watch?v=Wrq7AtT6Kyk>
2. BOLETIM DAS CHEIAS DO RIO URUGUAI... Itaqui, RS Quarta- feira dia 07/06/17: <https://www.youtube.com/watch?v=KEDk1XQTY7M>
3. CHEIA DO RIO URUGUAI – ITAQUI 2014: [https://www.youtube.com/watch?v=mY\\_ieZi5V6E](https://www.youtube.com/watch?v=mY_ieZi5V6E)

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, conforme Marcuzzo e Melati (2016, 2017).

#### Estatísticas da Série

Média cm	Desvio-Padrão cm	Máximo cm	Mínimo cm	Amplitude cm	Assimetria	Mediana cm	1º Quartil cm	3º Quartil cm	AIQ cm
965,6	190,9	1330,0	685,0	645,0	0,5	920,0	810,3	1081,8	271,5

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

Média	Desvio-Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
6,85435	0,19457	7,19293	6,52942	0,66352	0,19567	6,82438	6,69712	6,98633	0,28921

#### Momentos-L e Razões-L

$l_1$	$l_2$	L-CV	L-SKEW	L-KURT
965,6075	109,7791	0,1137	0,1234	0,0484

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

$l_1$	$l_2$	L-CV	L-SKEW	L-KURT
6,8543	0,1132	0,0165	0,0469	0,0356

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

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

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

Parâmetros da Distribuição Log-Normal

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

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

Distribuição	Posição ( $\mu$ )	Escala ( $\sigma$ )
Log-Normal ( $\mu, \sigma$ )	6,85434630	0,200672273



## 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