

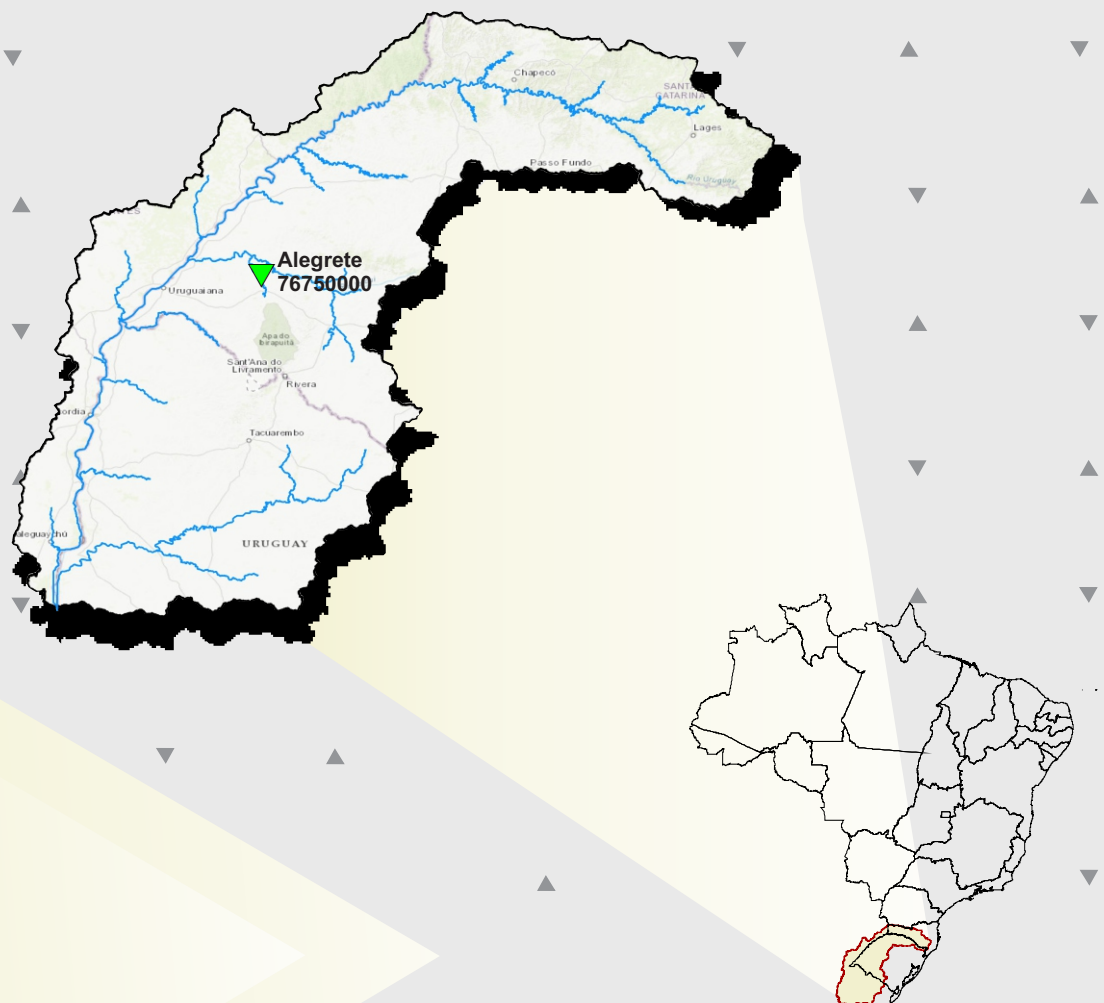
Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

Análise de Frequência de Cotas dos Sistemas de Alerta

Sistema de Alerta: Bacia do Rio Uruguai Rio Ibirapuitã em Alegrete

Código: 76750000

Município Atendido: Alegrete - 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 Uruguai

Rio: Ibirapuitã
Estação Fluviométrica: Alegrete
Código: 76750000
Município Atendido: Alegrete/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)

A532 Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha
Análise de frequência de cotas dos sistemas de alerta: Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai, rio Ibirapuitã, estação fluviométrica Alegrete, código 76750000, município atendido Alegrete, RS / Francisco Fernando Noronha Marcuzzo, Eber José de Andrade Pinto. – Porto Alegre: CPRM, 2022.
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 978-65-5664-260-4

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 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 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 na bacia do rio Uruguai, especificamente no rio Ibirapuitã na localidade da estação fluviométrica Alegrete, código 76750000. 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 Alegrete, no Estado do Rio Grande do Sul.

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

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 Alegrete
Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Alegrete
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 – Dados Utilizados e as Estatísticas

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 do rio Uruguai é transfronteiriça e interestadual, possuindo uma área de drenagem total de 349.844km² (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 174.078km² (49,76%), dividindo-se no estado do Rio Grande do Sul com 126.372km² (36,11%) e no estado de Santa Catarina com 95.733km² (13,65%). Já área territorial da bacia do rio Uruguai na Argentina é de 62.005km² (17,72%), no Uruguai de 113.179km² (32,35%) e 583km² (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 aproximadas de 27°54'31,3"S e 49°19'12,3"O, 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.

A estação Alegrete (76750000) está localizada na sub-bacia 76 (rio Ibicuí), a maior sub-bacia, em área de drenagem, das sub-bacias formadoras da bacia do rio Uruguai (7) em território brasileiro. Em sua parte norte e nordeste, estão localizados os principais afluentes do rio Ibicuí: o rio Jaguarí e o rio Ibicuí-Mirim. A confluência dos rios Santa Maria e Ibicuí-Mirim forma o rio Ibicuí que, com o rio Santa Maria é principal da sub-bacia 76 (KOEENDER, 2015; KOEENDER; MARCUZZO, 2015, 2016a). Detalhamentos da sub-bacia 76, como hidrogeologia, cálculos de drenagens de estações e diagramas unifilares, podem ser observados em Koefender e Marcuzzo, (2016b), Almeida *et al.* (2016), Finck *et al.* (2017), Freitas e Marcuzzo (2017), Souza *et al.* (2017) e Finck (2018).

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), é possível visualizar que a sua sub-bacia 77, a mais ocidental, no extremo oeste do Rio Grande do Sul, apresentou a menor precipitação média anual, com 1.455mm.ano⁻¹, e que, na mesma sub-bacia 77, no município de Uruguaiana do estado do Rio Grande do Sul, a menor precipitação média mensal foi observada, com um valor de 69mm, em agosto. Dessa forma, segundo os autores, agosto é considerado o mês mais seco da 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 $1.964\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, 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 apresentando essa característica. A amplitude de precipitação média anual entre as sub-bacias da bacia do rio Uruguai, em sua parte brasileira, é, em média, de $509\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$. Já no trabalho publicado por Souza *et al.* (2017) verifica-se que, na sub-bacia 76, onde está localizada a estação Alegrete (76750000), a média de precipitação pluviométrica de 1977 a 2006, varia de $1.435\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ no extremo sul da sub-bacia, entre Dom Pedrito/RS e a fronteira com o Uruguai, até $1.934\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ ao norte, na região do município de Santiago/RS. Koefender (2015) cita que a média geral da precipitação pluviométrica na sub-bacia 76 é de $1.629\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$.

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 Uruguaiana. 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). Utilizando-se os dados do Alerta de Eventos Críticos da Bacia do Uruguai, destacam-se os trabalhos de Guimarães *et al.* (2018) que estudou com que antecedência se consegue prever cheias na bacia, e o de Müller *et al.* (2019), que estudou o efeito da discretização na calibração do modelo MGB-IPH para a bacia do rio Uruguai.

Segundo o relatório anual, do ano de 2020, do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da Bacia do rio Uruguai (MATTIUZI; BUFFON, 2020), o mesmo entrou em operação em dezembro de 2018 e realiza previsão de níveis para seis municípios: Uruguaiana, 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 um total de 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 (MATTIUZI; 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 janeiro de 2022, todos no estado do Rio Grande do Sul, pelo Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, <https://www.cprm.gov.br/sace/>) da bacia do rio Uruguai são: Uruguaiana (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: Uruguaiana (HOELZEL; LAMBERTY, 2014), Alegrete (SILVA; SILVA, 2013), São Borja (PEIXOTO; HOELZEL, 2015), Rosário do Sul (SILVA; SILVA, 2012) e Itaqui (SILVA; SILVA, 2013).

A localização das 32 estações fluviométricas que compõem o Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Uruguai, em janeiro de 2022, 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 seis estações possuem previsão de cotas no SACE (<https://www.cprm.gov.br/sace/>) e 26 são de apoio.

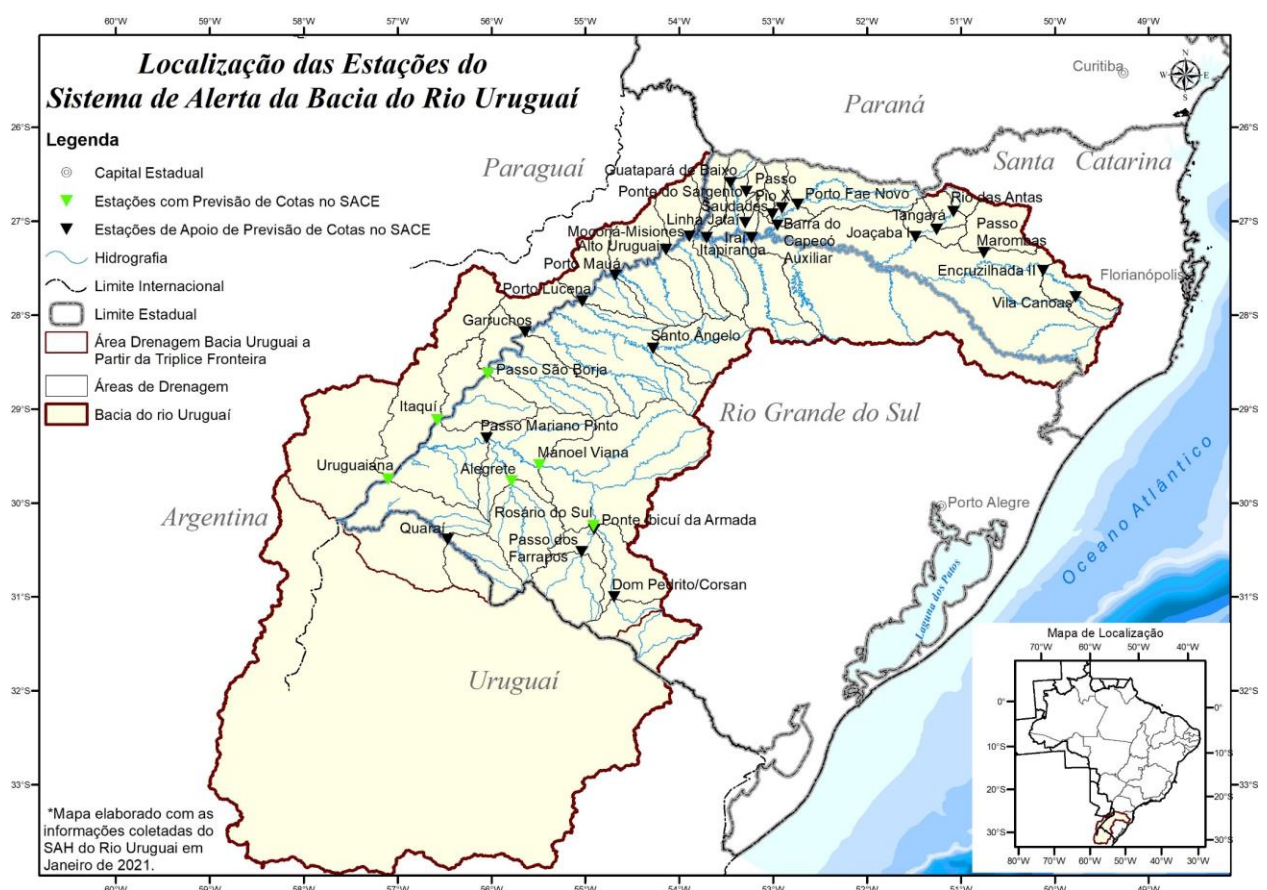


Figura 01 – Localização das estações fluviométricas do SAH da bacia do rio Uruguai

Conforme o inventário de estações fluviométricas e pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) 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. Observa-se que, das 75 estações fluviométricas na bacia do rio Uruguai (7), 13 estão na sub-bacia 76, sendo cinco telemétricas, das quais, três, Alegrete (76750000), Rosário do Sul (76750000) e Manoel Viana (76560000), são pertencentes ao SACE da bacia do rio Uruguai.

A estação de Alegrete (Figura 02), código 76750000, está localizada na Latitude 29°46'06"S e Longitude 55°47'15"O, na altitude de 66,25m no rio Ibirapuitã (ANA, 2021), e possui uma área de drenagem de 5.867,84km², resultando em, aproximadamente, 1,68% da área total da bacia do rio Uruguai, que é de 349.844km² (MARCUIZZO, 2017).

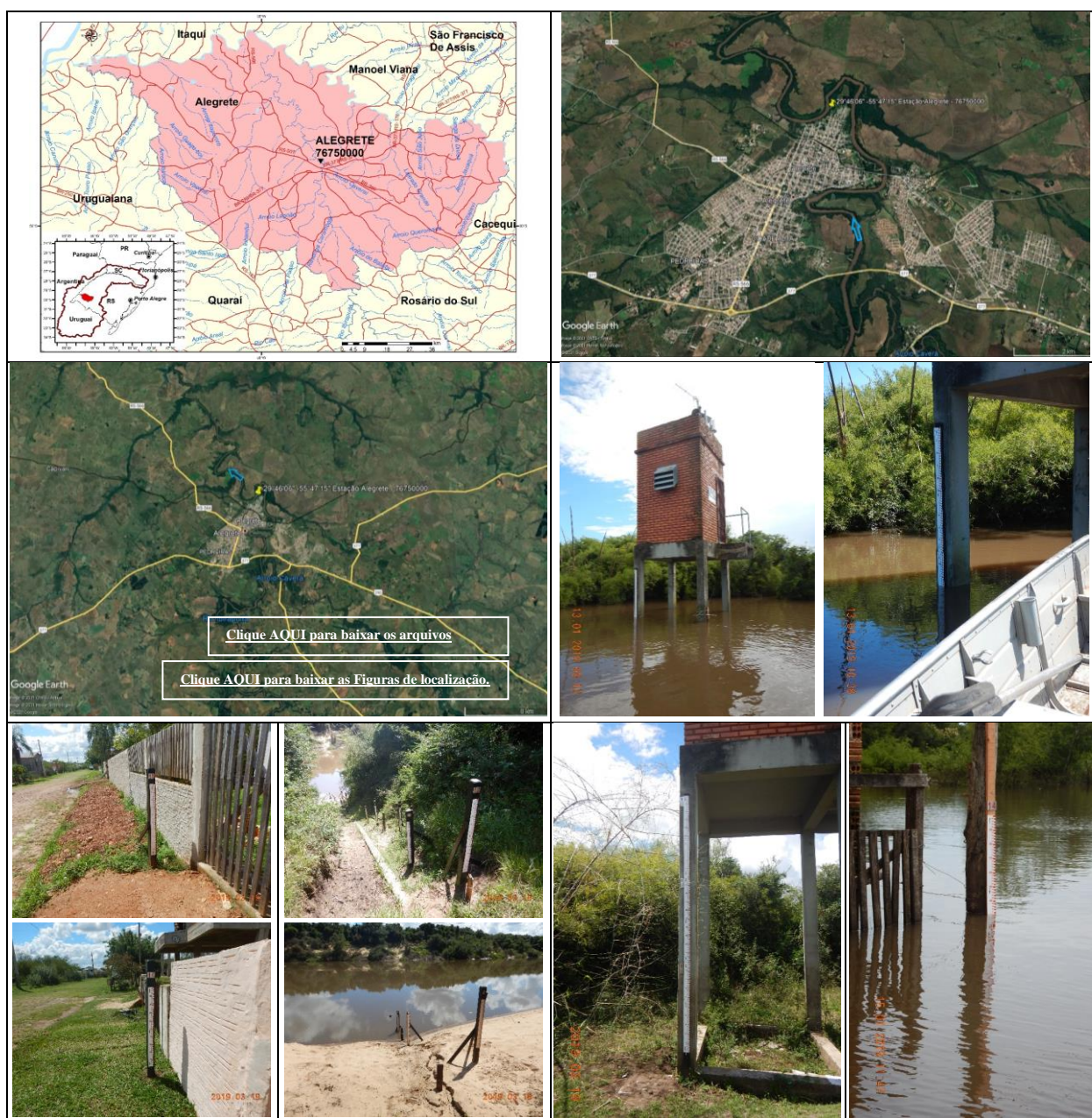


Figura 02 – Localização e fotos da seção de réguas da estação Alegrete

A Figura 02 ilustra, além da localização, imagens aéreas e fotos da seção de réguas da estação de Alegrete (76750000). Considerando a área de drenagem total, aproximada, da sub-bacia 76 (47.146 km², em KOEFENDER, 2015), onde está localizada a estação fluviométrica, a área de drenagem da estação, com 5.867,84km², corresponde a aproximadamente 12,4% da sub-bacia 76.

A estação fluviométrica Alegrete (76750000 / 02955013 – PFDSQT) está instalada no rio Ibirapuitã, em sua margem esquerda, na área urbana da cidade de Alegrete/RS, sendo a única, até a elaboração deste texto, neste curso d'água. Dentro da rede hidrometeorológica nacional de referência, o objetivo deste ponto de monitoramento é o monitoramento de eventos hidrológicos críticos (Anexo I).

A estação de Alegrete possui, desde a sua implementação, em dezembro de 1939, réguas linimétricas instaladas para realização de duas leituras diárias, pelo observador, dos níveis do rio Ibirapuitã, as 7h e as 17h. Contudo, até janeiro de 2022, estavam disponíveis, para utilização e verificação, apenas dados dos arquivos de dupla leitura (DL) e boletins escanerizados a partir de 1974, conforme o trabalho desenvolvido por Naitzel, Goldenfum e Marcuzzo (2020). Descartando alguns anos com falhas, totalizou-se 42 anos completos de dados de dupla leitura de cotas (Anexo III) utilizadas neste estudo de análise de frequência. Os dados são do ano de 1974, 1976 a 1985, 1987 a 1989, de 1991 a 1994 e de 1996 a 2020.

Nesta estação, desde 2011, estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do rio Ibirapuitã (amostragem a cada 15 minutos e transmissão via satélite a cada 1 hora), ou seja, a estação fluviométrica de Alegrete possuía, desde a instalação do alerta de eventos críticos da bacia do rio Uruguai, em dezembro de 2018, um equipamento telemétrico para aquisição de dados de nível e chuva (código da estação pluviométrica: 02955013).

A estação automática está junto da seção de réguas alocada em um abrigo de alvenaria que permanece trancado, a chave se encontra na sala da supervisão da SUREG-PA e a observadora possui uma cópia. A Plataforma de Coleta de Dados (PCD) está alocada dentro deste abrigo e a antena, painel solar e o pluviômetro automático da estação estão na laje do abrigo, que pode ser acessada pela escada existente no interior do abrigo e um alçapão, o acesso a entrada do abrigo requer a utilização de uma escada móvel. O sensor de nível é do tipo capacitivo e a parte subterrânea da instalação foi feita com tubulação de PVC soldável de 75 mm e na porção final tubos galvanizados fixados leito com cantoneiras de aço. A limpeza e manutenção do sensor de nível podem ser feitas puxando pela caixa de passagem que está junto da seção de réguas próximo do lance 5-6 (Anexo I).

A medição de descarga da estação Alegrete (76750000) é realizada de forma embarcada, com medidor acústico do tipo M9, em seção localizada 1.800 metros a jusante da seção de réguas ou na própria seção de réguas. Em cotas baixa é possível efetuar a medição a vau, em seção localizada a 300 metros a jusante da seção de réguas. O controle desta estação é do tipo canal, para todo o intervalo de cotas.

A Figura 03 apresenta o levantamento da seção transversal na seção de réguas da estação. A Figura 03 também apresenta graficamente as cotas de atenção (750cm), alerta (850cm) e inundação (970cm) para a cidade de Alegrete/RS, bem como, a maior

cota observada (1.445cm) e a maior cota com medição de descarga líquida (1.345cm). Considerando o que consta na estatística do banco bruto de leituras médias, a maior cota observada/registrada em Alegrete (76750000) foi 1.445cm, em 11/04/1959. Já considerando os dados disponíveis no banco bruto dupla leitura (DL), que foi o banco utilizado neste estudo, até o momento de redação desse texto, a maior cota observada foi de 1.364cm, as 7hh e as 17h00, em 15/04/1992. Na época da grande cheia histórica do rio Uruguai, registrada em julho de 1983, considerando os dados de cotas DL, registrou-se a cota de 892cm em 21/07/1983, as 7h00 e 17h00, sendo que a maior cota registrada na estação Alegrete, em 1983, foi de 1.194cm em 07/05/1983 (Anexo III). Na medição de descarga líquida na cota de 1.345cm, em 14/01/2019, maior cota com medição até o momento da elaboração deste texto, obteve-se $1.270\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ no rio Ibirapuitã, na localidade da estação de Alegrete. Já a menor cota observada foi de 46cm, em 04/03/1965, e a menor cota com medição de descarga líquida foi de 60cm, em 27/01/2012, quando se obteve uma vazão de $1,31\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. A menor cota observada, de 46cm, em 04/03/1965, é do banco de dados brutos da leitura média. Considerando os dados disponíveis de DL, no banco de dados brutos, a menor cota observada foi de 50cm em 10/04/1997 e 28/01/2009. Ressalta-se que, os dados e as informações transcritas neste parágrafo, acima, foram obtidos no banco de dados brutos até janeiro de 2022, ou seja, a partir desta data os valores de cotas de atenção, alerta, inundação, bem como as maiores e menores cotas, sejam as observadas ou com medição de vazão, poderão sofrer alterações na estação Alegrete (76750000). A delimitação das cotas e suas respectivas áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa do município de Alegrete/RS, pode ser observado na publicação de Silva e Silva (2013), disponível no site do Serviço Geológico do Brasil.

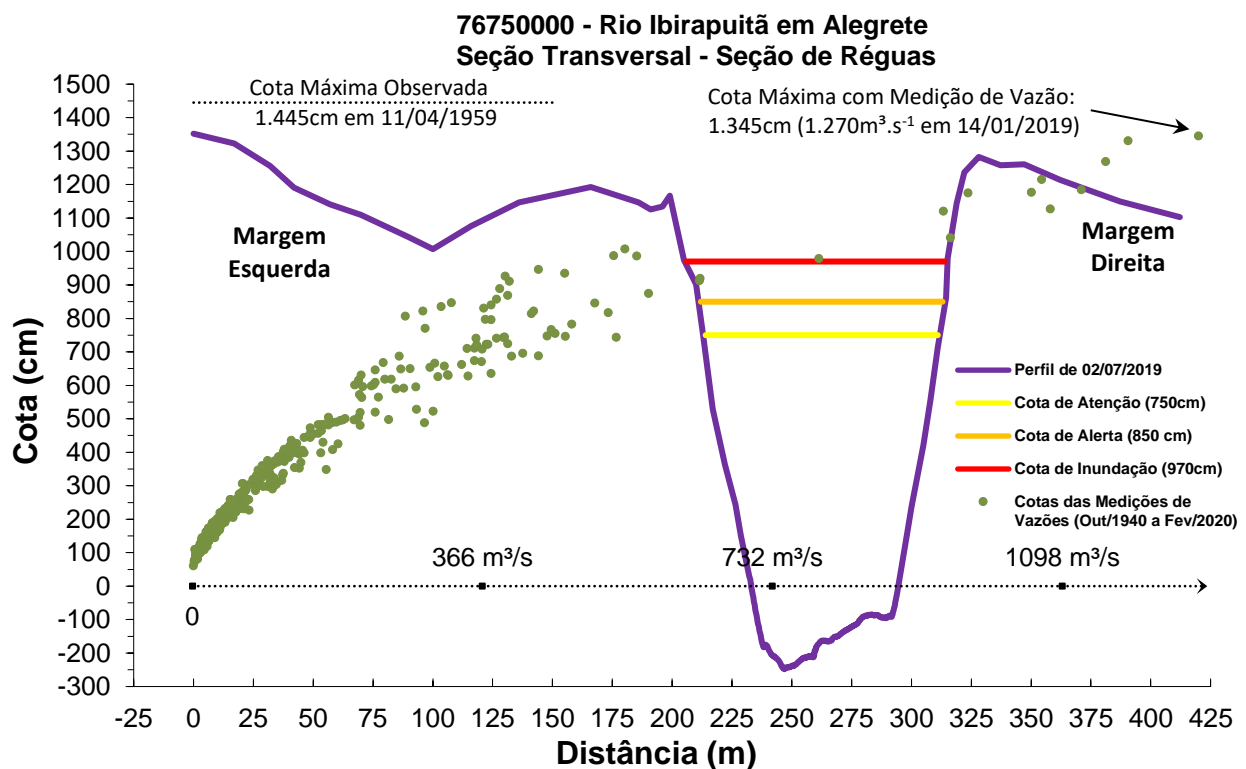


Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Alegrete

Em um estudo local do Serviço Geológico do Brasil, que utilizou os Levantamentos de Seção Transversal (LST) das estações do SACE Uruguai, 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. Assim os autores relatam que a característica dos escoamentos 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.

Em uma análise detalhada do histórico da estação, disponível em seu inventário (ANA, 2021), 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 930cm, se refere ao início do alagamento na cidade de Alegrete/RS, a qual está a margem esquerda do rio Ibirapuitã. Maiores detalhes podem ser encontrados na sua ficha descritiva e croqui do Anexo 01.

No Anexo III observa-se que a série de cotas máximas DL, por ano hidrológico, que no caso desta estação fluviométrica foi considerado o mesmo período que o ano civil, apresenta 42 valores registrados, sendo 41 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 41 valores registrados válidos de cotas máximas dupla leitura, de 1974, de 1976 a 1988 e de 1991 a 2020, em três anos, ou seja, 7% em relação ao total de observações, possuem cotas máximas anuais menores que a cota de atenção (750cm), e, 38 registros, ou seja, 93%, são superiores a cota de atenção (750cm).

Na Tabela 01 e na Figura 04 também se observa que 35 registros, ou seja, 85% do total de 41 valores válidos pelo teste de Grubbs e Beck, são superiores a cota de alerta (850cm) e 30 registros, ou seja, 73%, são superiores a cota de inundação (970cm), considerando as cotas do SACE Uruguai em 01/2022.

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	41	% em Relação ao Total
Nº de Anos com Cotas Maiores que Inundação	30	73%
Nº de Anos com Cotas Maiores que Alerta	35	85%
Nº de Anos com Cotas Maiores que Atenção	38	93%
Nº de Anos com Cotas Menores que Atenção	3	7%

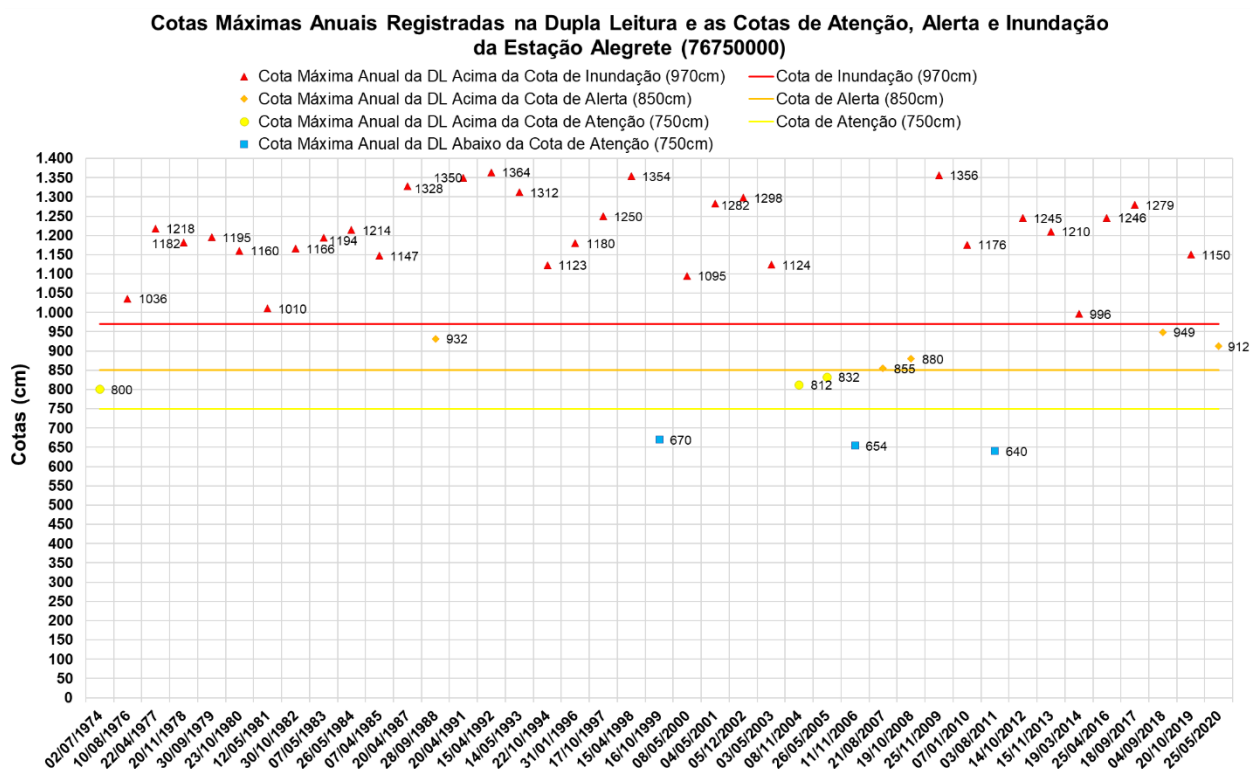


Figura 04 – Cotas máximas anuais registradas nos boletins dupla leitura, e as linhas representando as cotas de atenção, alerta e inundação

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 DL 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 dificulta a determinação de um mês de início e um mês de fim do ano hidrológico.

A diferença entre a máxima cota com medição de vazão (1.345cm com vazão de $1.270\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) e a máxima cota observada (1.445cm) nas réguas é de 100cm. Já a diferença entre a maior cota observada (1.445cm) e a menor cota observada (46cm) é de 1.339cm. Nos registros disponíveis, até janeiro de 2022, nota-se que a menor cota observada, 46cm, foi registrada em 04/03/1965 e, a segunda menor cota, 50cm, foi registrada 10/04/1997 e em 28/01/2009. As duas maiores cotas registradas pelo observador, disponíveis no banco bruto de leituras médias, foram 1.445cm, em 11/04/1959, e 1.365cm, em 20/04/1991. As duas maiores cotas registradas pelo observador, disponíveis no momento para verificação no boletim dupla leitura, foram 1.364cm, em 15/04/1992, e 1.356cm, em 03/11/2009. A razão entre as cotas máximas, ou seja, a maior cota observada com a maior cota que possui medição de vazão é de 1,07 (1.445cm/1.345cm). 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. Nota-se que, a medição na cota 1.345cm (14/01/2019, 13h00) pela leitura das 7h00, com 1.350cm, e das 17h00, com

1.344cm, o rio estava sob processo de vazante, não podendo ser descartado a histerese. Atrelado que, nem na margem esquerda e nem na margem direita, até janeiro de 2022, não havia Levantamento de Seção Transversal (LST) até a maior cota observada (Figura 3), são fatos que dificultam o traçado e ajuste do tramo superior (extrapolação) da curva-chave da estação de Alegrete e diminuem a confiabilidade na estimativa das vazões em cotas altas para a localidade. A falta de um LST, nas margens, até, no mínimo, a maior cota observada registrada, impossibilita a utilização de métodos mais confiáveis de extrapolação de curva-chave, derivadas da equação de Manning, que, por sua vez, utilizam os parâmetros hidráulicos da seção, como área molhada e raio hidráulico. 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. Além da necessidade de medições em cotas altas, há também a necessidade de mais medições quando o rio está em ascensão e descenso do seu nível, de modo a se confirmar ou excluir a possibilidade de no local ocorrer o fenômeno físico da histerese, conforme relatado no trabalho de Marcuzzo, Maldonado e Souza (2019), para a estação Itaqui (7590000), que também faz parte do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da bacia do Uruguai.

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 a estação fluviométrica está instalada, associada ao fato de que o modelo de previsão de cotas do SACE da bacia do rio Uruguai utilizar um modelo “cota-cota” (até janeiro de 2022), fez com que se optasse pela análise da frequência de cotas máximas e não vazão máxima.

Adverte-se e enfatiza-se que, os tempos de retorno 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 assimétricas numéricas entre cotas e vazões. 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 (MARCUZZO; 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 Ibirapuitã em Alegrete, código 76750000, foi efetuada utilizando a série de cotas máximas por ano civil (01/Jan a 31/Dez), apresentadas no Anexo III, visto que não há definição de início e fim do ano hidrológico na região (MARCUIZZO; MELATI, 2016, 2017). No Anexo III também são apresentados alguns endereços eletrônicos, disponíveis na Internet, de alguns eventos de cheia registrados, em vídeos, do município de Alegrete/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 III. Das duas distribuições candidatas, Gumbel foi rejeitada pelo teste de aderência e Log-Normal não foi rejeitada. A distribuição Log-Normal também apresentou um menor desvio padrão dos resíduos entre a distribuição empírica e a teórica. A Figura 04 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;

μ é o parâmetro de posição (6,98533);

σ é o parâmetro de escala (0,19869).

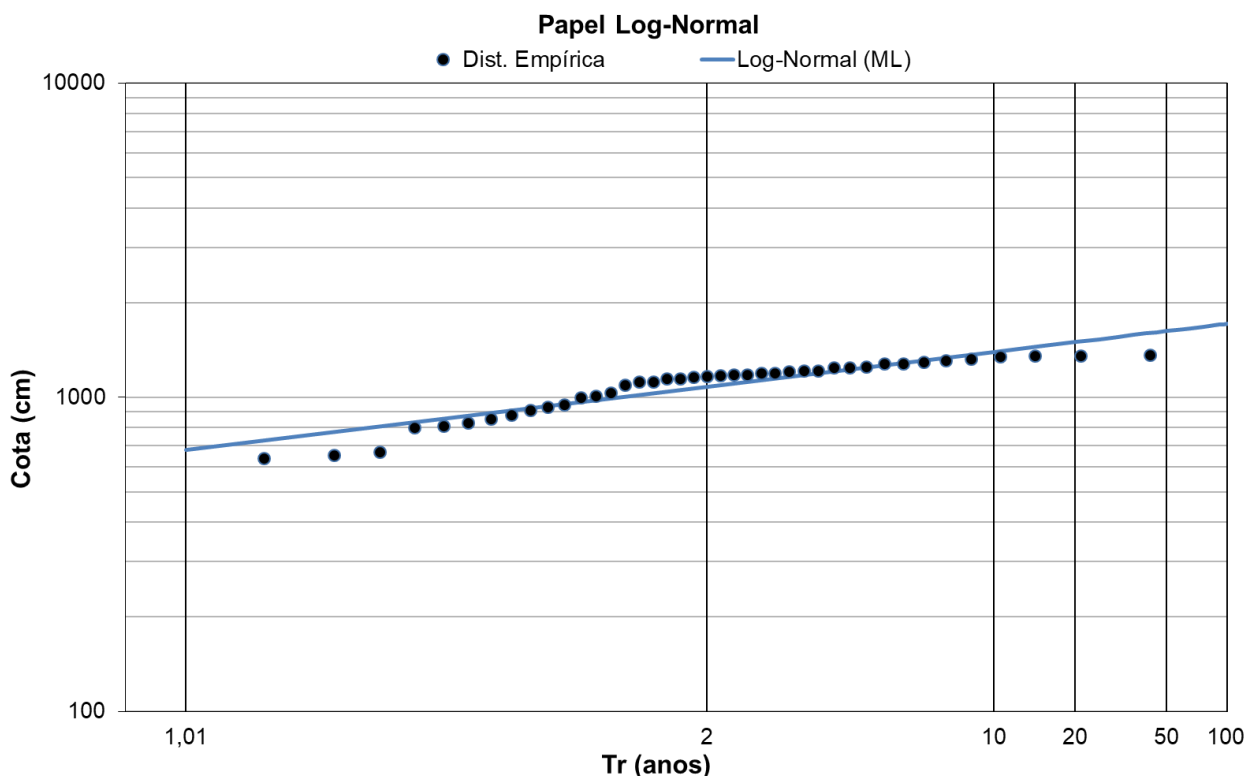


Figura 04 – Ajuste das distribuições empírica e teórica

A equação 01 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 100 anos. A Tabela 01 apresenta as cotas associadas a diferentes tempos de retorno da estação Alegrete (76750000) pelo modelo de distribuição de frequência Log-Normal com o Método de Momentos-L.

Tabela 01 – 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)	1081	1277	1394	1456	1498	1530	1556	1595	1625	1649	1679	1702	1716

4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) No dia 11/04/1959 o rio Ibirapuitã, no município de Alegrete/RS, na estação fluviométrica Alegrete (código 76750000), alcançou a cota de 1.445cm (registro na estatística de máxima mensal do banco bruto de cotas médias). 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 1.445cm, o parâmetro de posição é $\mu = 6,98533$, e o de escala é $\sigma = 0,19869$. Substituindo os valores na equação 02 temos:

$$Z_{\left(1-\frac{1}{T}\right)} = \frac{(\ln(1.445) - 6,98533)}{0,19869} = 1,46225$$

Levando o valor 1,58703 em uma tabela de Inversa da Distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMP.N do Excel obtém-se: $P(Z \leq 1,46225) = 0,92816$.

O tempo de retorno será:

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

$$T = \frac{1}{1 - 0,92816} = 13,92 \text{ anos}$$

A probabilidade de a cota ser igualada ou superada será:

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

$$P(x_T \geq 1.445\text{cm}) = \frac{1}{13,92} 100 = 7,18\%$$

O tempo de retorno de 13,92 anos, corresponde a probabilidade de 7,18% da cota 1.445cm ser igualada ou superada em um ano qualquer.

- b) Qual é o tempo de retorno da cota de atenção em Alegrete (código 76750000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de atenção em Alegrete, código 76750000, em 01/2022, é 750cm. 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 1,03 anos. A probabilidade da cota de 750cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 97,09%.*

- c) Qual é o tempo de retorno da cota de alerta em Alegrete (código 76750000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de alerta em Alegrete, código 76750000, em 01/2022, é 850cm. 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 1,13 anos. A probabilidade da cota de 850cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 88,50%.*

- d) Qual é o tempo de retorno da cota de inundação em Alegrete (código 76750000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de inundação em Alegrete, código 76750000, em 01/2022, é 970cm. 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 1,42 anos. A probabilidade da cota de 970cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 70,42%.*

- e) Uma agroindústria será instalada no município de Alegrete/RS as margens do rio Ibirapuitã. Considerando a transposição das cotas das réguas da estação Alegrete (código 76750000), até o local de sua instalação, verificou-se que a agroindústria terá sua base instalada na cota 1.705cm (1.445cm na estação Alegrete, em 11/04/1959, mais 18%). 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 Ibirapuitã em um ano qualquer?

Resposta: *Substituindo a cota de 1.705cm e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 92,00 anos. A probabilidade da cota de 1.705cm, na base da instalação da agroindústria, ser igualada ou superada pelo rio Ibirapuitã, em um ano qualquer, é de 1,09%.*

Nota-se, nestes exemplos de aplicação, que os tempos de retornos para as cotas de atenção, com 1,03 anos para 750cm, de alerta, com 1,13 anos para 850cm, e de

inundação, com 1,42 anos para 970cm, são curtos, ou seja, há uma grande frequência, quase que 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 41 valores registrados e válidos de cotas máximas oriundas dos boletins dupla leitura, entre os anos de 1974, de 1976 a 1988 e de 1991 a 2020, em três anos, ou seja, 7% em relação ao total de observações das cotas, possuem máximas anuais menores que a cota de atenção (750cm), e, 38 registros, ou seja, 93%, são superiores a cota de atenção (750cm) do SACE Uruguai.

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

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>. 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.

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.

CHUVA NA FRONTEIRA OESTE DESABRIGA CENTENAS. [Porto Alegre]: Band RS, 2019. 1 vídeo (2,17 min.). Publicado por Band RS. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=7wj2D1ZD5o4>. Acesso em: 13 set. 2021.

ENCHENTE EM ALEGRETE. [s.l.]: [s.n.], 2016. 1 vídeo (4,09 min.). Publicado por Ivalci Marcuzzo. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LtuBGO4f3Hw&t=16s>. 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.

FREITAS, M. A. de; MARCUZZO, F. F. N. Aquíferos da bacia hidrográfica do rio Ibicuí no estado do Rio Grande do Sul. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18488>. Acesso em: 13 set. 2021.

GUIMARÃES, G. M.; FAN, F. M.; MARCUZZO, F. F. N.; BUFFON, F. T.; GERMANO, A. de O. Com qual antecedência conseguimos prever cheias no rio Uruguai usando um modelo hidrológico de grande escala? In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2018. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/19640>. 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 eletrônicos[...]** 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: 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. Disponível em:
<https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>. Acesso em: 15 set. 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.; 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. 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 set. 2021.

MULLER, Y. T.; FAN, F. M.; BUFFON, F. T.; MARCUZZO, F. F. N. Efeito da discretização na calibração do modelo MGB-IPH para a Bacia do rio Uruguai. 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/21544>. Acesso em: 13 set. 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.

PANORÂMICA 3600 DA ENCHENTE DO RIO IBIRAPUITÃ EM ALEGRETE: 15/04/2017. [s.l.]: AM2 DRONE, 2017. 1 vídeo (2,33 min.). Publicado por AM2 DRONE. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_GdEfp6TXo. 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 em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/11560>. Acesso: 03mar.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. DOI <https://doi.org/10.1214/aoms/1177731358>. Disponível em: <https://projecteuclid.org/journals/annals-of-mathematical-statistics/volume-14/issue-4/An-Exact-Test-for-Randomness-in-the-Non-Parametric-Case/10.1214/aoms/1177731358.full>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ANEXO I

Ficha Descritiva, Ficha Complementar e Croqui
Estação Fluviométrica de Alegrete, código 76750000

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Identificação

Código:	76750000	Estação:	ALEGRETE	Tipo:	FDSQT
Região hidrográfica:	Rio Uruguai			Sub-bacia:	76
Bacia:	RIOS URUGUAI				
Município:	Alegrete	Estado:	RS	Roteiro:	96
Latitude:	-29.7680	Longitude:	-55.7870	Altitude (m):	66
Instrumento:	GPS	Datum:	WGS 84		
Área de dren. (km ²):	5940	Instalada em:	01/12/1939	Extinta em:	
Coordenador:	ANA	Operador:	CPRM - SUREG/PA		
Código da folha:	2736	Nome da folha:			
Orgão executor:		Ano:		Escala:	1:100.000

Localização

- A estação localiza-se no rio Ibirapuitã na cidade de Alegrete, no bairro Vila Nova.

Acessibilidade

Pela rua General Sampaio (Rua do hospital), no bairro Vila Nova, até o final da rua que chega na seção de medição.

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 e 1200-1300, 1300-1400 e 1400-1500

SM01 - réguas

SM02 - 180m a jusante da seção de réguas.

Referências de nível

RN 03 = 11778

RN 04 = 13999

RN 05 = 14522

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Seções e processos de medição

SM01 - réguas

SM02 - 180m a jusante da seção de réguas.

Processo de medição: Barco

Equipe:

Data: 29/05/2021

Estação: ALEGRETE

Código: 76750000

Potamografia

Características do trecho

Regime: Perene Conformação: Retilínea Fundo: Irregular

Posição em relação à rede

Montante: PASSO DO OSÓRIO

Jusante:

Natureza e inclinação das margens

Esquerda: Média Arenosa com Vegetação de Médio Porte

Direita: Média Arenosa com Vegetação de Médio Porte

Leito

Natureza: Arenosa com Rochas

Controle

Controle: Canal Localização: - A estação Distância

Observador

Nome:

Apelido:

Endereço:

Complemento:

Bairro:

Município: Alegrete

Estado: Rio Grande do Sul

CEP:

Telefone fixo:

Celular:

Autorizado:

Apelido:

Endereço:

Complemento:

Telefone fixo:

Celular:

Leiturista:



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA



Observações

Equipamentos

Equipe:

Estação: ALEGRETE

Data: 29/05/2021

Código: 76750000



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM

SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

ROT 96 – Alegrete – 76750000/02955013 – PFDSQT

Objetivos do monitoramento

A estação fluviométrica Alegrete está instalada no rio Ibirapuitã, na área urbana da cidade de mesmo nome, sendo a única 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 junto da seção de réguas alocada em um abrigo de alvenaria que permanece trancado, a chave se encontra na sala da supervisão da SUREG-PA e a observadora possui uma cópia. A PCD está alocada dentro deste abrigo e a antena, painel solar e o pluviômetro automático da estação estão na laje do abrigo, que pode ser acessada pela escada existente no interior do abrigo e um alçapão, o acesso a entrada do abrigo requer a utilização de uma escada móvel. O sensor de nível é do tipo capacitivo e a parte subterrânea da instalação foi feita com tubulação de PVC soldável de 75 mm e na porção final tubos galvanizados fixados leito com cantoneiras de aço. A limpeza e manutenção do sensor de nível podem ser feitas puxando pela caixa de passagem que está junto da seção de réguas próximo do lance 5-6.

Medição de descarga

A medição de descarga é realizada de forma embarcada, com medidor acústico do tipo M9, em seção localizada 1800 metros a jusante da seção de réguas ou na própria seção de réguas.

Abaixo da cota *** é possível efetuar a medição a vau, em seção localizada a 300 metros a jusante da seção de réguas.

Controle

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

Cota H₀

Não aplicável.

Referências de Nível

- RN2 11844;
- RN3 11844;
- PA 068 – 11953;

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 / USB-A-B

ID GOES: B5625F74, canal primário: 61, horário de transmissão: 00:19:10 (1150);

Modem: Sutron Satlink XMTR;

Chave Tasco;

Fabricante: Hexis/OTT;

DataLogger: OTT NetDI-1000;

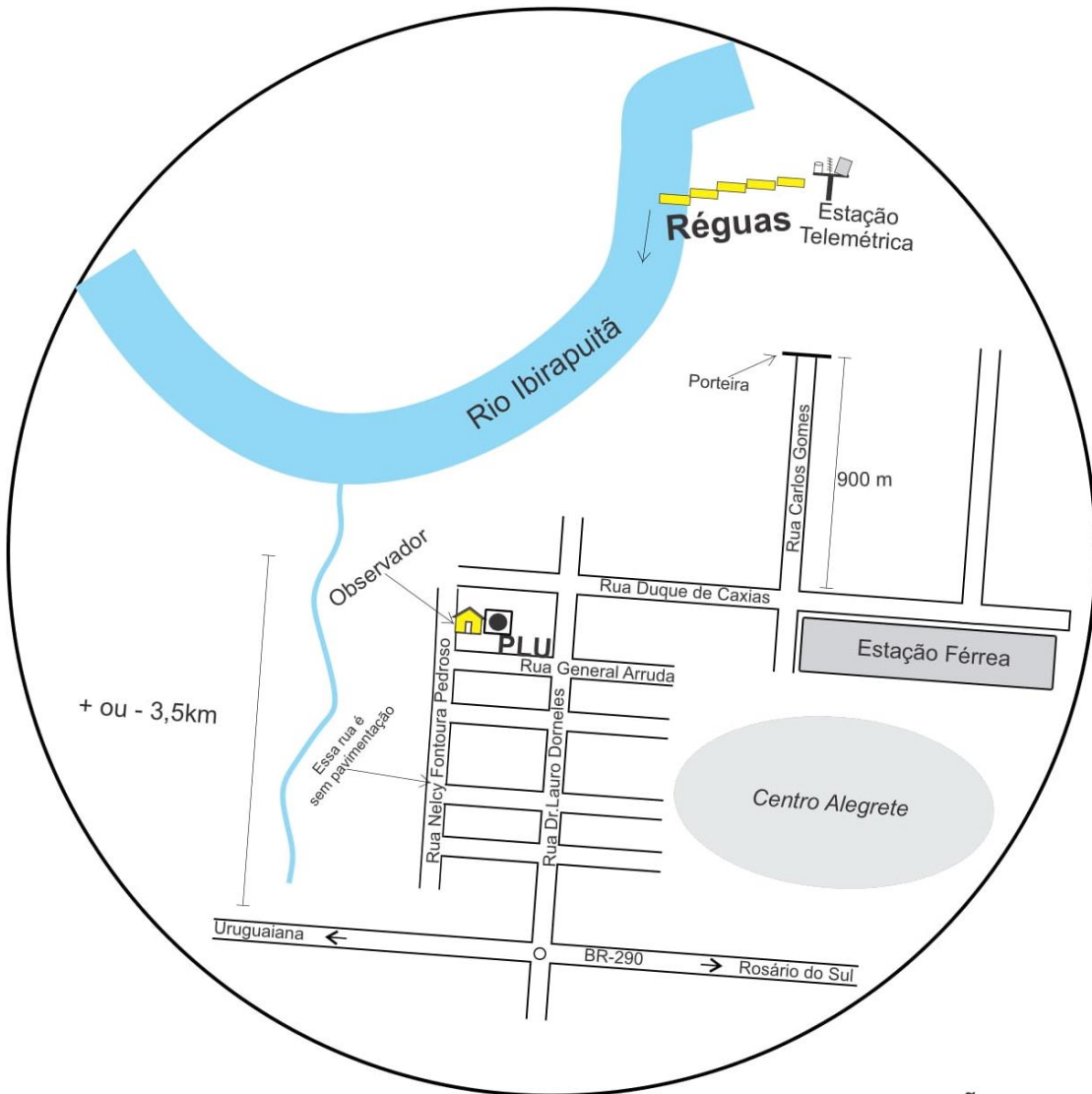
Bateria (12V e 26 Ah);

Sensor de nível capacitivo Keller 46X;

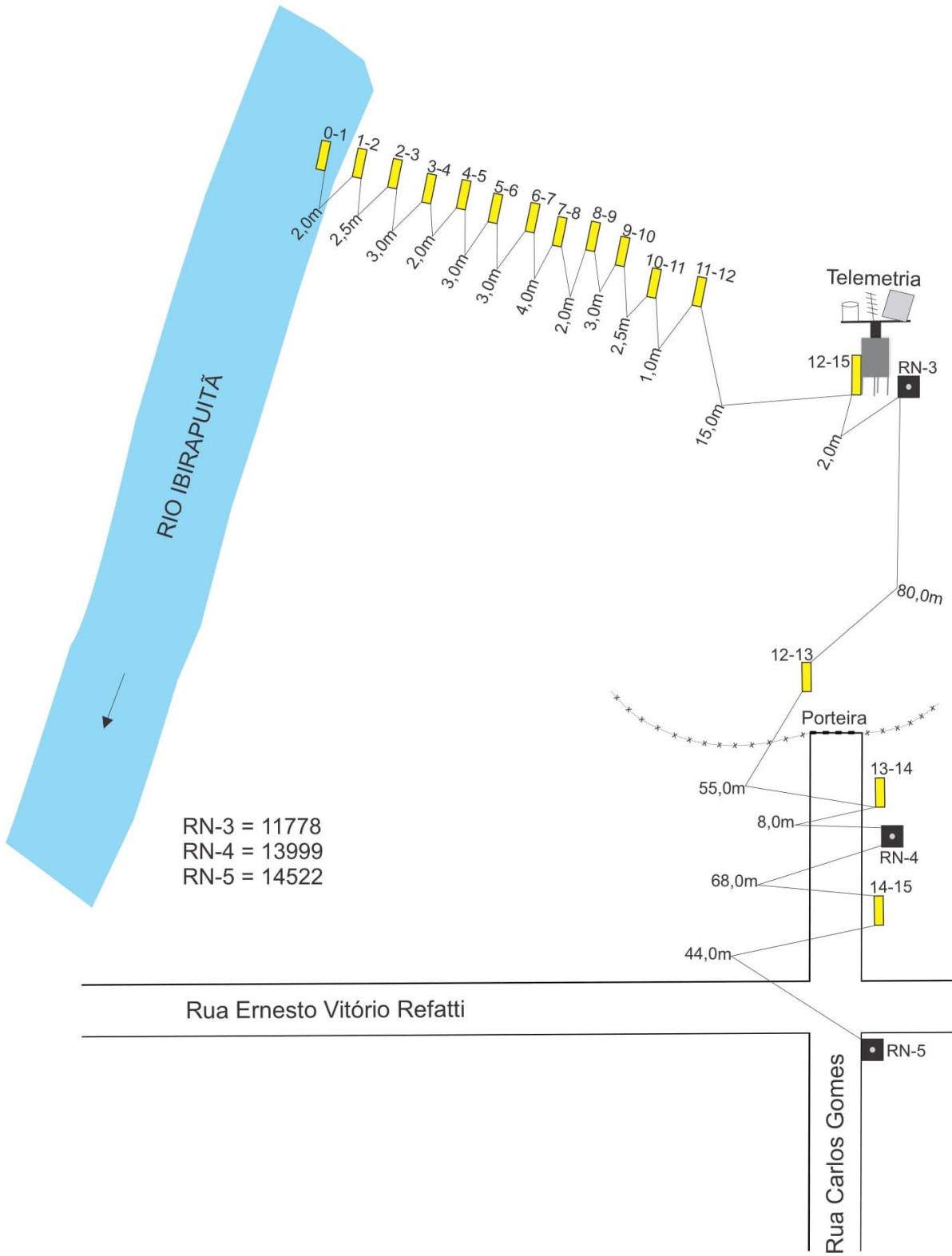
Cabo de comunicação militar – serial e conversor serial-USB ou USB-A-B;

Capa do pluviômetro removida através do parafuso de pressão (não necessita de ferramentas);

Número de patrimônio ANA: 21722



LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO
 ALEGRETE
 CÓDIGO: 76750000
 19/03/2019



RIO IBIRAPUITÃ EM ALEGRETE
19/03/2019

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

ANEXO III

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	02/07/1974	800	*DL
2	10/08/1976	1036	DL
3	22/04/1977	1218	DL
4	20/11/1978	1182	DL. Verificado março e dezembro. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro.
5	30/09/1979	1195	DL. Verificado de janeiro a abril. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro.
6	23/10/1980	1160	DL. Verificado janeiro e de junho a agosto. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro.
7	12/05/1981	1010	DL
8	30/10/1982	1166	DL
9	07/05/1983	1194	DL
10	26/05/1984	1214	DL
11	07/04/1985	1147	DL. Verificado outubro e novembro. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro.
12	20/04/1987	1328	DL. Verificado janeiro, março, abril, julho a setembro e dezembro. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro. Sem a ajuda do gráfico, pela estatística do HIDRO, a maior cota seria 794cm em 11/06/1987.
13	28/09/1988	932	DL. Verificado fevereiro, março, junho e agosto. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro.
14	24/08/1989	**535	DL. Cota verificada com boletim. Menor valor dos máximos registrado. Cota de 535cm em 24/08/1989 está correta. Contudo, é abaixo do limite inferior do teste Grubbs e Beck, que fica 568,49cm quando a cota de 535cm é utilizada.
15	20/04/1991	1350	DL
16	15/04/1992	***1364	DL. Maior cheia histórica registrada em boletim DL encontrado. Conferido no boletim, encontrou-se rasuras.
17	14/05/1993	1312	DL. Verificado março, maio e junho. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro. Sem análise do gráfico, a estatística do HIDRO dava como maior cota, para 1993, 1260cm, em 19/11/1993.
18	22/10/1994	1123	DL. Verificado abril, maio, julho e setembro. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro.
19	31/01/1996	1180	DL. Verificado de junho a dezembro. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro.
20	17/10/1997	1250	DL
21	15/04/1998	1354	DL

Nº	Data do Registro	Cota (cm)	Observações
22	16/10/1999	670	DL
23	08/05/2000	1095	DL
24	04/05/2001	1282	DL
25	05/12/2002	1298	DL
26	03/05/2003	1124	DL
27	08/11/2004	812	DL
28	26/05/2005	832	DL
29	11/11/2006	654	DL
30	21/08/2007	855	DL
31	19/10/2008	880	DL
32	25/11/2009	1356	DL
33	07/01/2010	1176	DL
34	03/08/2011	640	DL
35	14/10/2012	1245	DL
36	15/11/2013	1210	DL
37	19/03/2014	996	DL
38	25/04/2016	1246	DL. Verificado janeiro. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro.
39	18/09/2017	1279	DL. Verificado abril. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro. O valor foi corrigido de abril de 2017 com a leitura horária da PCD.
40	04/09/2018	949	DL
41	20/10/2019	1150	DL
42	25/05/2020	912	DL. Verificado de setembro a dezembro. Faltam dados para fechar a estatística destes meses no Hidro.

Valores obtidos através da análise do **gráfico de cotas com o apoio** das estações 77420000 (Passo do Osório) a montante e 76800000 (Passo Mariano Pinto) a jusante, para **anos completos** (com todos os dados de cota preenchidos e todas as estatísticas calculadas) e **sem boletim** escanerizado.

Valores obtidos através da análise do **gráfico de cotas com o apoio** das estações 77420000 (Passo do Osório) a montante e 76800000 (Passo Mariano Pinto) a jusante, 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 obtidos 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 77420000 (Passo do Osório) a montante e 76800000 (Passo Mariano Pinto) a jusante e do **boletim escanerizado** 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.

** Dado não utilizado devido a não passar no teste de limite inferior de Grubbs e Beck.

*** Atenção: A maior cheia histórica, até a presente data (01/2022), registrada na estação Alegrete (76750000), foi em 11/04/1959, quando o rio Ibirapuitã alcançou a cota de 1.445cm, segundo os dados disponíveis na estatística das cotas médias do banco bruto. Neste trabalho utilizou-se a série histórica da DL a partir de janeiro de 1974, cujos dados estavam disponíveis em janeiro de 2022, quando elaborou-se esse estudo. A segunda maior cota registrada, considerando as séries de DL e leitura média, com dados disponíveis em janeiro de 2022, é a de 1.364cm, que ocorreu na DL em 15/04/1992. Já a menor cota observada, de 46cm, em 04/03/1965, é do banco de dados da leitura média. Considerando os dados disponíveis de dupla leitura, no banco de dados, a menor cota observada foi de 50cm em 10/04/1997 e 28/01/2009.

ANEXO III

Estatística da Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)

Vídeos na INTERNET registrando cheias no rio Ibirapuitã em Alegrete/RS.

1. CHUVA NA FRONTEIRA OESTE DESABRIGA CENTENAS: <https://www.youtube.com/watch?v=7wj2D1ZD5o4>.
2. ENCHENTE EM ALEGRETE: <https://www.youtube.com/watch?v=LtuBGO4f3Hw&t=16s>.
3. PANORÂMICA 3600 DA ENCHENTE DO RIO IBIRAPUITÃ EM ALEGRETE: <https://www.youtube.com/watch?v=GdEfp6TXo>.

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
1101,9	204,7	1364,0	640,0	724,0	-0,8	1166,0	949,0	1246,0	297,0

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio-Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
6,98533	0,20720	7,21818	6,46147	0,75671	-1,13224	7,06133	6,85541	7,12769	0,27228

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
1101,8537	114,5098	0,1039	-0,2119	0,0884

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

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
6,9853	0,1121	0,0160	-0,2901	0,1250

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos (μ e σ são parâmetros da distribuição Log-Normal)

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

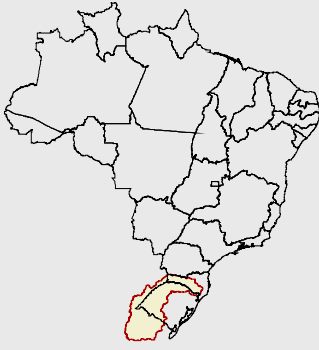
Inversa da distribuição Log-Normal: $x(F)$ não possui forma analítica

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)	6,98533361	0,19868836



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