

RELATÓRIO DE ATIVIDADES

DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA



SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO URUGUAI

Relatório Técnico de Operação 2021

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Novembro 2021

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

Relatório de Atividades

Departamento de Hidrologia

SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO URUGUAI

Relatório Técnico de Operação 2021

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Camila Dalla Porta Mattiuzi

Artur Jose Soares Matos

Porto Alegre, 2021

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Claudio Peixinho

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

EQUIPE

Camila Dalla Porta Mattiuzi

Artur Jose Soares Matos

Franco Turco Buffon

SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO – BACIA DO RIO URUGUAI

(Relatório de Atividades N° 1 – Ano 2021)

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Camila Dalla Porta Mattiuzi

Artur Jose Soares Matos

FOTOS DA CAPA: Rio Ibirapuitã em Alegrete/RS. Sobrevoos de drone realizado pela equipe GEHITE/PA – CPRM (outubro/2021).

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M444	Mattiuzi, Camila Dalla Porta Relatório de Atividades Departamento de Hidrologia: Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Uruguai: relatório técnico de operação 2021. / Camila Dalla Porta Mattiuzi; Artur José Soares Matos. – Porto Alegre: CPRM, 2021. 1 recurso eletrônico: PDF ; il. <i>ISBN 978-65-5664-179-9</i> 1.Desastres naturais. 2.Chuvas intensas. 3. Inundações. I. Matos, Artur José Soares. IV. Título. CDD 551.48
------	--

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Ana Lúcia Coelho CRB 10/840

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

www.cprm.gov.br

seus@cprm.gov.br

APRESENTAÇÃO

Neste relatório são apresentadas as atividades executadas durante a operação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Uruguai (SAH-Uruguai), realizada pela Superintendência Regional de Porto Alegre (SUREG/PA) no âmbito do Projeto Sistema de Alerta Hidrológico, compreendendo o monitoramento dos eventos hidrológicos observados no ano de 2021.

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai está localizada na região da fronteira do Brasil com o Uruguai e a Argentina, e se estende por uma área aproximada de 349 mil km². Da sua área total, 45%, ou seja, aproximadamente 174 mil km², estão situados em território brasileiro, ao longo dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Eventos hidrológicos extremos, como inundações, podem ocorrer em qualquer mês do ano na região da Bacia do Rio Uruguai, e são deflagrados tanto por precipitações intensas e localizadas, em rios menores e de maior declividade, quanto por precipitações de longa duração e grande abrangência espacial, em rios maiores, especialmente no rio Uruguai. O Sistema de Alerta do Rio Uruguai (SAH-Uruguai) entrou em operação em dezembro de 2018; através deste sistema é realizado o monitorando dos níveis do rio Uruguai e afluentes, além de previsões hidrológicas de cheias, as quais subsidiam a tomada de decisão e ações dos municípios e defesas civis em situações de risco hidrológico. Neste relatório são apresentados os resultados da operação do SAH-Uruguai no ano de 2021.

ABSTRACT

The Uruguai River Basin is located in the border of Brazil with Uruguay and Argentina, and extends over an approximate area of 349,000 km². Of its total area, 45%, that is, approximately 174 thousand km², are located in the Brazilian territory, along the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul. Extreme hydrological events, such as floods, can occur in any month of the year in the region of the Uruguai River Basin, and are triggered both by intense and localized rainfall, in smaller and steeper rivers, as by long-term rainfall and large spatial coverage, in larger rivers, especially in the Uruguai River. The Uruguai River Alert System (SAH-Uruguai) started its operation in December 2018; through this system, the monitoring of the levels of the Uruguai River and its tributaries is carried out, in addition to hydrological forecasts of floods, which support the decision-making and actions of municipalities and civil defenses in situations of hydrological risk. This report presents the results of the SAH-Uruguai operation in 2021.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUGUAI	13
2.1 Hidrografia	13
2.2 Pluviometria.....	16
2.3 Monitoramento Hidrometeorológico	18
2.4 População na bacia	19
3. OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DO RIO URUGUAI	19
4. ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SISTEMA DE ALERTA DO RIO URUGUAI	20
4.1 Dados Gerais de Monitoramento	20
4.2 Cotas de Referência e Atualizações.....	22
4.3 Modelos e Tempo de Antecedência.....	23
5. EVENTOS OCORRIDOS EM 2021	24
5.1 Monitoramento pluviométrico.....	24
5.2 Monitoramento fluviométrico.....	28
5.3 Eventos ocorridos em 2021	30
5.3.1 Eventos ocorridos em 2021: junho e julho	31
5.3.2 Eventos ocorridos em 2021: setembro	31
6. ESTUDOS EM DESENVOLVIMENTO E PUBLICAÇÕES	32
7. OUTRAS PUBLICAÇÕES.....	33
7.1 Diagramas Unifilares.....	33
7.2 Equações IDF.....	33
7.3 Gestão Territorial.....	33
8. PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS	34

9. AGRADECIMENTOS	34
10. CONCLUSÕES.....	34
11. Referências Bibliográficas.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai a partir da tríplice fronteira e em território brasileiro. Elaborado pelo Autor (2021).....	14
Figura 2. Hidrografia da Bacia do Rio Uruguai em território brasileiro. Elaborado pelo Autor (2021).	15
Figura 3. Isoietas médias anuais e precipitação média anual. Elaborado pelo Autor (2021) com dados de Pinto <i>et al.</i> (2011)	16
Figura 4. Precipitação média mensal na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai (2000-2018), em mm (MATTIUZI, 2021)	17
Figura 5. Estações hidrometeorológicas em operação pela CPRM na bacia do rio Uruguai. Elaborado pelo Autor (2021).	18
Figura 6. Distribuição da população nos municípios da Bacia do Rio Uruguai. Elaborado pelo Autor (2021) com dados de IBGE (2010).	19
Figura 7. Boletins emitidos desde o início da operação (dez/2018). Elaborado pelo Autor (2021).	20
Figura 8. Estações fluviométricas telemétricas do SAH Uruguai. Elaborado pelo Autor (2021).	21
Figura 9. Precipitação acumulada em janeiro de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (Rozante <i>et al.</i> , 2010).....	24
Figura 10. Precipitação acumulada em fevereiro de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE <i>et al.</i> , 2010).....	25
Figura 11. Precipitação acumulada em março de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE <i>et al.</i> , 2010).....	25
Figura 12. Precipitação acumulada em abril de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE <i>et al.</i> , 2010).....	25

Figura 13. Precipitação acumulada em maio de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE <i>et al.</i> , 2010).....	26
Figura 14. Precipitação acumulada em junho de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE <i>et al.</i> , 2010).....	26
Figura 15. Precipitação acumulada em julho de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE <i>et al.</i> , 2010).....	26
Figura 16. Precipitação acumulada em agosto de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE <i>et al.</i> , 2010).....	27
Figura 17. Precipitação acumulada em setembro de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE <i>et al.</i> , 2010).....	27
Figura 18. Precipitação acumulada em outubro de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE <i>et al.</i> , 2010).....	27
Figura 19. Monitoramento Fluviométrico em Uruguaiana no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).....	28
Figura 20. Monitoramento Fluviométrico em Itaqui no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).	28
Figura 21. Monitoramento Fluviométrico em Passo São Borja no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).....	29
Figura 22. Monitoramento Fluviométrico em Manoel Viana no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).....	29
Figura 23. Monitoramento Fluviométrico em Alegrete no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).	30

Figura 24. Monitoramento Fluviométrico em Rosário do Sul no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).....	30
Figura 25. Inundação em Alegrete em junho/julho de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).....	31
Figura 26. Inundação em Alegrete em setembro de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).....	32

1. INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai está situada na fronteira entre Argentina, Brasil e Uruguai e possui uma área aproximada de 349 mil km². Em território brasileiro a bacia se estende através da região sul do Brasil nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e abrange um total de 391 municípios, os quais somam uma população total de 4.617.421 habitantes (IBGE, 2010).

Na extensão do rio Uruguai e seus afluentes são recorrentes episódios de precipitações que deflagram elevações nos níveis: as ocorrências de eventos de cheias na Bacia do Rio Uruguai estão associadas tanto a precipitações de longa duração (nos rios maiores) quanto às precipitações intensas e de menor duração (nos rios menores). Para monitorar as diferentes condições hidrológicas ao longo da Bacia do Rio Uruguai entrou em operação, em dezembro de 2018, o Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) Uruguai, o qual é operado e mantido pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil em parceria com a ANA – Agência Nacional de Águas. O SAH-Uruguai conta com 28 estações de monitoramento hidrometeorológico e realiza previsões de níveis para seis municípios.

Neste relatório são apresentados os resultados da operação do SAH-Uruguai no ano de 2021.

2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUGUAI

2.1 Hidrografia

A Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai localiza-se nos territórios do Brasil, Uruguai e Argentina, com área de drenagem de aproximadamente 349 mil km². Na Figura 1 pode-se visualizar a área de abrangência da bacia a partir da tríplice fronteira (Brasil-Argentina-Uruguai) e também a área em território brasileiro.

Da área total da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, 45%, ou seja, aproximadamente 174 mil km², estão situados em território brasileiro, sendo 73% no estado do Rio Grande do Sul e 27% em Santa Catarina (MARCUIZZO, 2017).

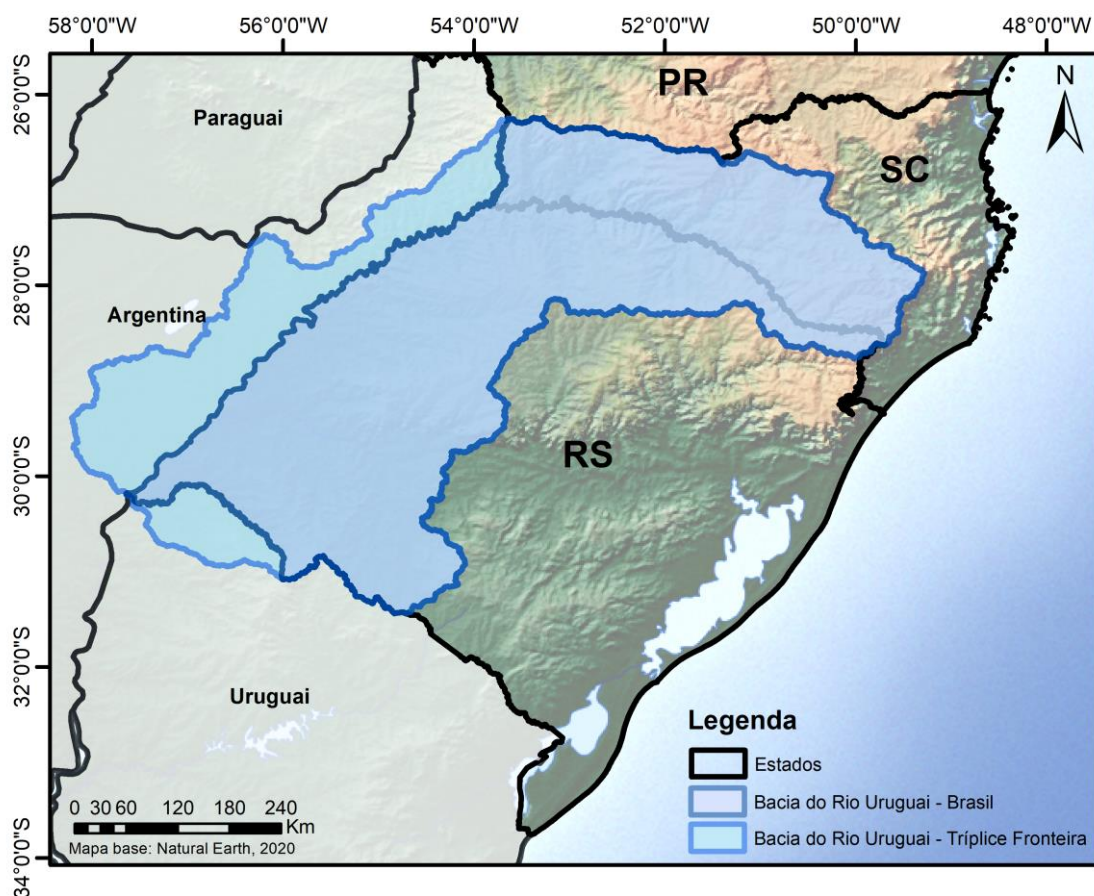


Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai a partir da tríplice fronteira e em território brasileiro. Elaborado pelo Autor (2021).

O Rio Uruguai possui aproximadamente 2.200 km de extensão, e é formado pela confluência dos rios Pelotas e Canoas, tendo sua foz no estuário do rio da Prata. Conforme pode ser observado na Figura 2, que apresenta a hidrografia da Bacia do Rio Uruguai em território brasileiro, inicialmente o rio Uruguai corre na direção leste-oeste e divide os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em seu trecho nacional; neste trecho recebe importantes contribuições dos rios do Peixe, Irani, Chapecó e Antas (pela margem direita – catarinense) e rios Apuaê, Inhandava, Passo Fundo, da Várzea e Guarita (pela margem esquerda – gaúcha). Após a confluência com o rio Peperi-Guaçu, o Rio Uruguai muda para a direção sudoeste e passa a delimitar a fronteira entre o Brasil e a Argentina; neste trecho recebe as afluições dos rios do Turvo, Santa Rosa, Santo Cristo, Ijuí, Icamaquã, Piratini, Butuí e Ibicuí, todos pela margem esquerda. Após a afluição do rio Quaraí, deixa o território nacional, e passa a definir a fronteira entre o Uruguai e a Argentina, até a sua foz. (MMA, 2006)

Na região do Alto Uruguai, que compreende a divisa entre RS-SC, o relevo apresenta altas declividades, com rios de corredeiras, curtos e com tempos de deslocamento pequenos; portanto as cheias decorrem de precipitações intensas e localizadas. Já no trecho do Médio Uruguai, que compreende a divisa com a Argentina, os rios são extensos e menos declivosos, e os eventos de cheia ocorrem devido a precipitações de longa duração e de grande abrangência espacial (MMA, 2006). Nas regiões do Rio Ibicuí (incluindo a bacia do rio Santa Maria) e do Rio Negro, as cheias, as quais são dependentes da intensidade da chuva, ocorrem de forma independente das precipitações nas cabeceiras da bacia. O Ibicuí é o maior contribuinte do Rio Uruguai, tendo sua influência observada na região do Baixo Uruguai, entre as estações fluviométricas Itaqui e Uruguiana.

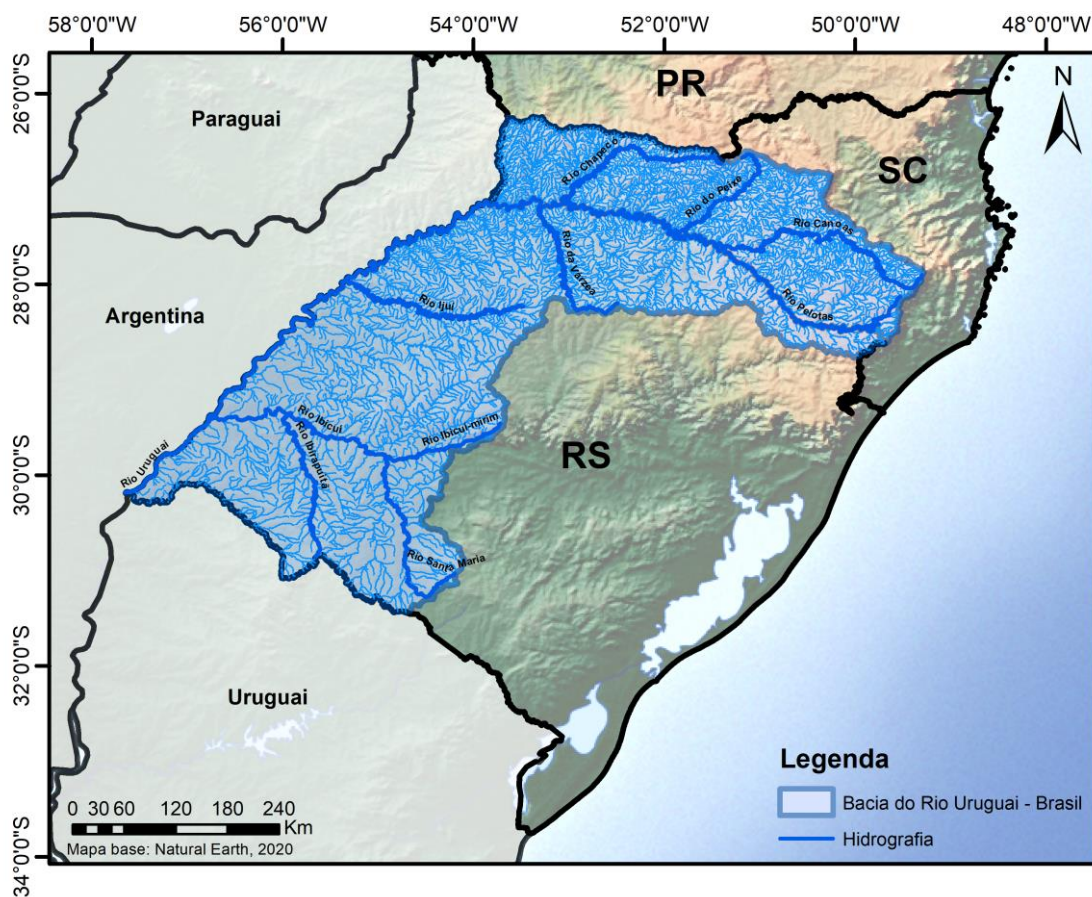


Figura 2. Hidrografia da Bacia do Rio Uruguai em território brasileiro. Elaborado pelo Autor (2021).

2.2 Pluviometria

As isoietas médias anuais e precipitação média anual para o período de 1977 a 2006, obtidas a partir do Atlas Pluviométrico do Brasil (PINTO *et al.*, 2011) estão apresentadas na Figura 3.

A precipitação tem uma distribuição uniforme durante o ano, não sendo havendo um período de seca definido. As precipitações médias anuais variam de 2.100 mm nas cabeceiras, que estão localizadas no Planalto Riograndense, até 1.400 mm na região da fronteira com o Uruguai (PEDROLLO *et al.*, 2014).

Os totais pluviométricos médios mensais, referentes aos dados de 94 estações desta bacia no período de 1977 a 2006 (PINTO *et al.*, 2011), variaram entre 113 mm e 200 mm. Observa-se um total pluviométrico maior no mês de outubro, sendo março e agosto os meses menos chuvosos.

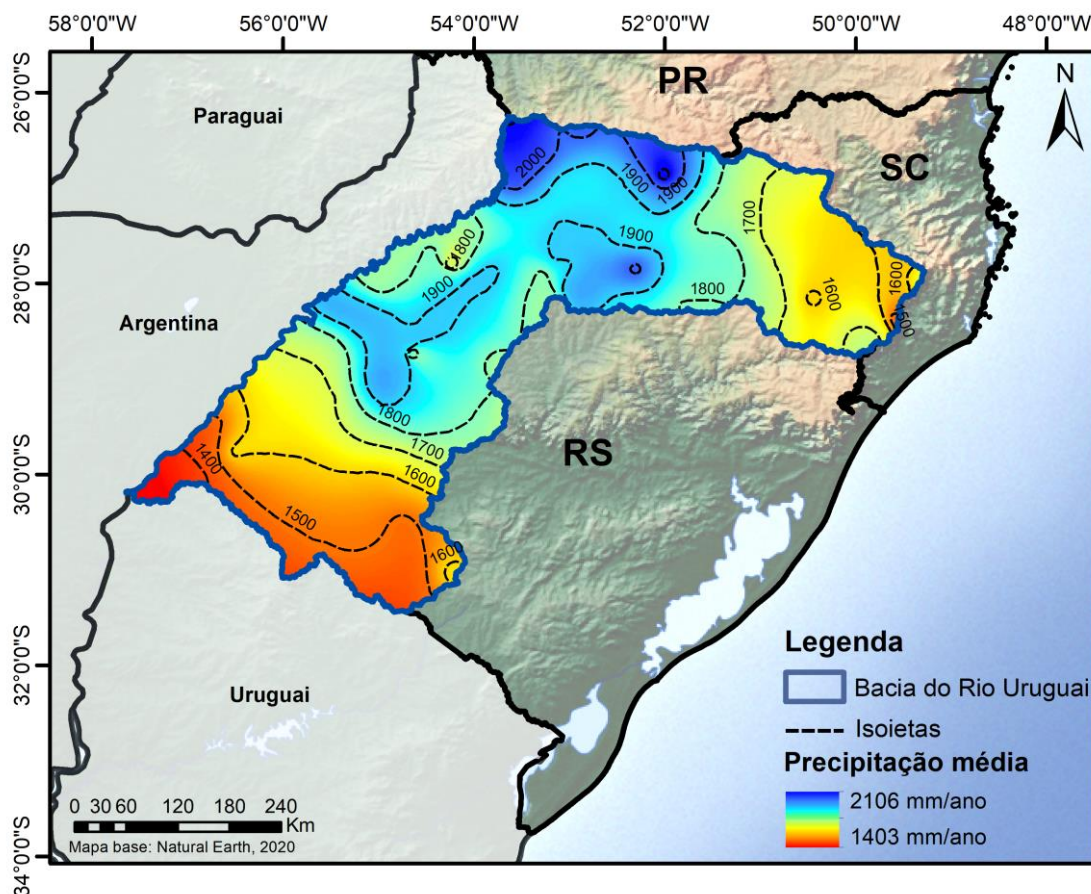


Figura 3. Isoietas médias anuais e precipitação média anual. Elaborado pelo Autor (2021) com dados de Pinto *et al.* (2011)

Em um estudo recente (Mattiuzi, 2021) foram calculadas as precipitações médias mensais a partir de dados do produto IMERG da missão GPM (Global Precipitation Measurement); os produtos IMERG fornecem a precipitação obtida a partir de vários satélites com sensores de microondas passivos da constelação GPM, os quais após processamento e calibração têm resolução espacial de 0,1°. O produto GPM_3IMERGM também inclui análises com estações pluviométricas (HUFFMAN *et al.*, 2019).

Os dados obtidos foram referentes ao período de junho de 2000 a dezembro de 2018, conforme disponibilidade de dados do produto GPM IMERG Final Precipitation L3 1 month 0,1 degree x 0,1 degree V06 (GPM_3IMERGM).

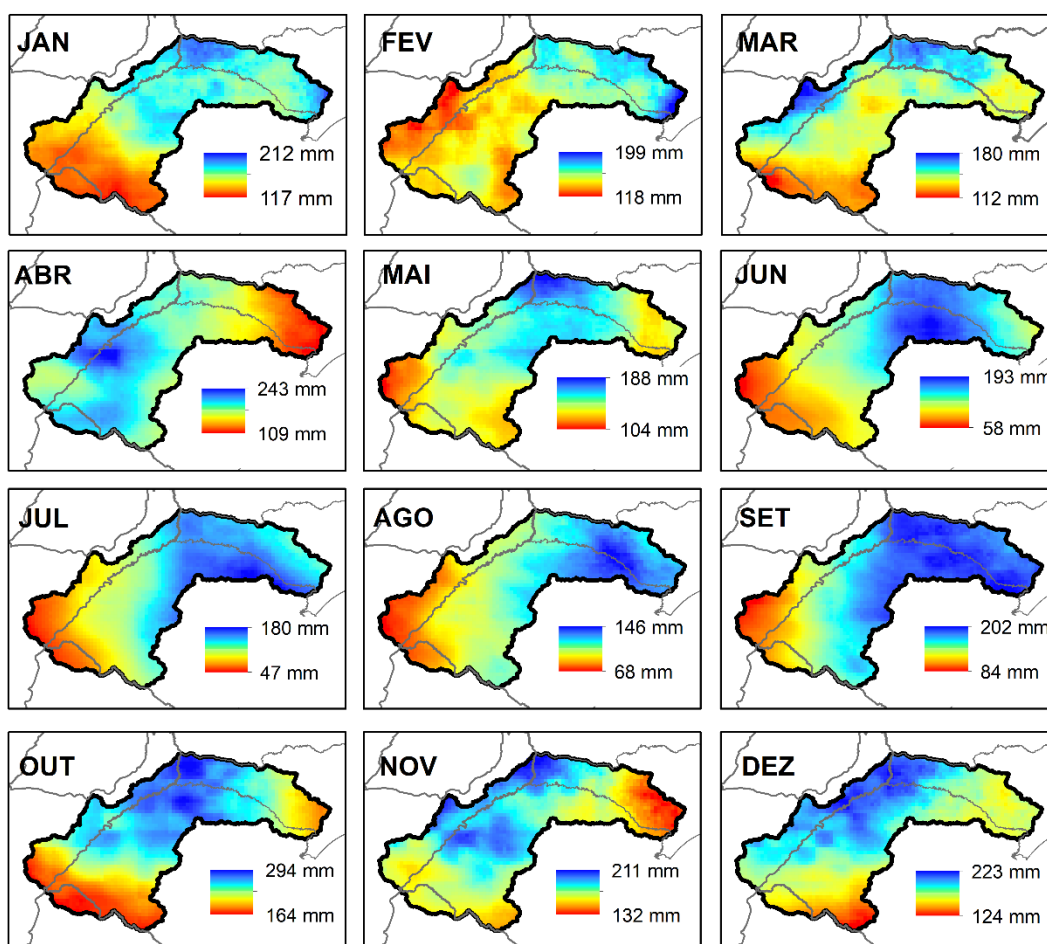


Figura 4. Precipitação média mensal na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai (2000-2018), em mm (MATTIUZI, 2021)

A precipitação média mensal na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, em mm, está apresentada na Figura 4 (Mattiuzi, 2021); as escalas mensais informam os valores mínimos e máximos mensais. As menores precipitações médias foram observadas nos meses de julho, junho, agosto e setembro (47 mm, 58 mm, 68

mm e 84 mm, respectivamente), ocorrendo principalmente na região oeste, na fronteira entre Brasil, Argentina e Uruguai. A maior precipitação média é observada no mês de outubro (294 mm), ocorrendo na região Média da Bacia do Rio Uruguai, nas divisas entre os estados de RS e SC com a Argentina. Percebe-se que, em geral, as precipitações são mais elevadas na cabeceira e na região do Alto Uruguai, sendo observado menores volumes acumulados na região do Médio/Baixo Uruguai e fronteira oeste do RS. As precipitações médias mensais ao longo de toda a Bacia do Rio Uruguai variaram entre 109 mm (agosto) e 233 mm (outubro); este resultado está em conformidade com estudo de Pinto *et al.* (2011) utilizando estações pluviométricas.

2.3 Monitoramento Hidrometeorológico

Conforme dados do inventário das estações hidrometeorológicas nacionais (ANA, 2021) existem 178 estações pluviométricas convencionais e 72 estações fluviométricas convencionais em operação pela CPRM na área de extensão da Bacia do Rio Uruguai; a distribuição das estações está apresentada na Figura 5.

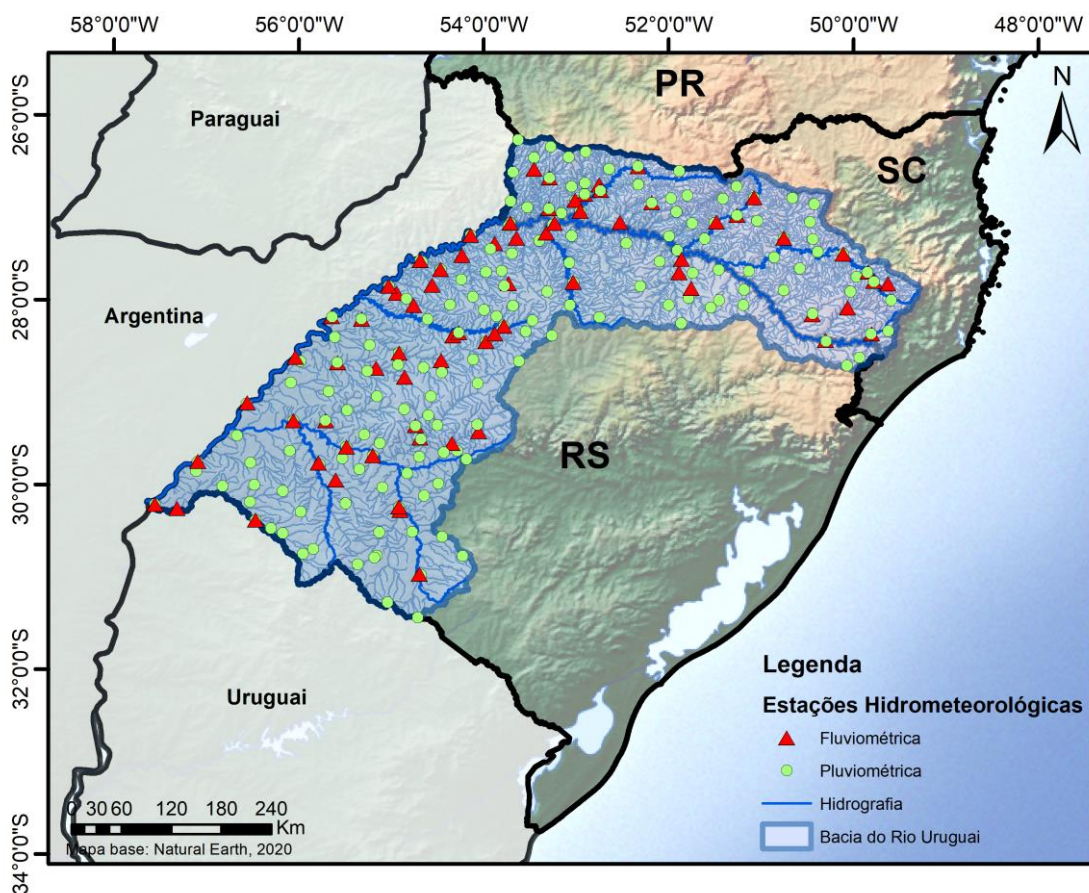


Figura 5. Estações hidrometeorológicas em operação pela CPRM na bacia do rio Uruguai. Elaborado pelo Autor (2021).

2.4 População na bacia

A Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai em território brasileiro se estende através dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, abrangendo 391 municípios que correspondem a uma população total de 4.617.421 habitantes, conforme dados do último censo do IBGE (2010). A distribuição da população nos municípios da Bacia do Rio Uruguai está apresentada na Figura 6.

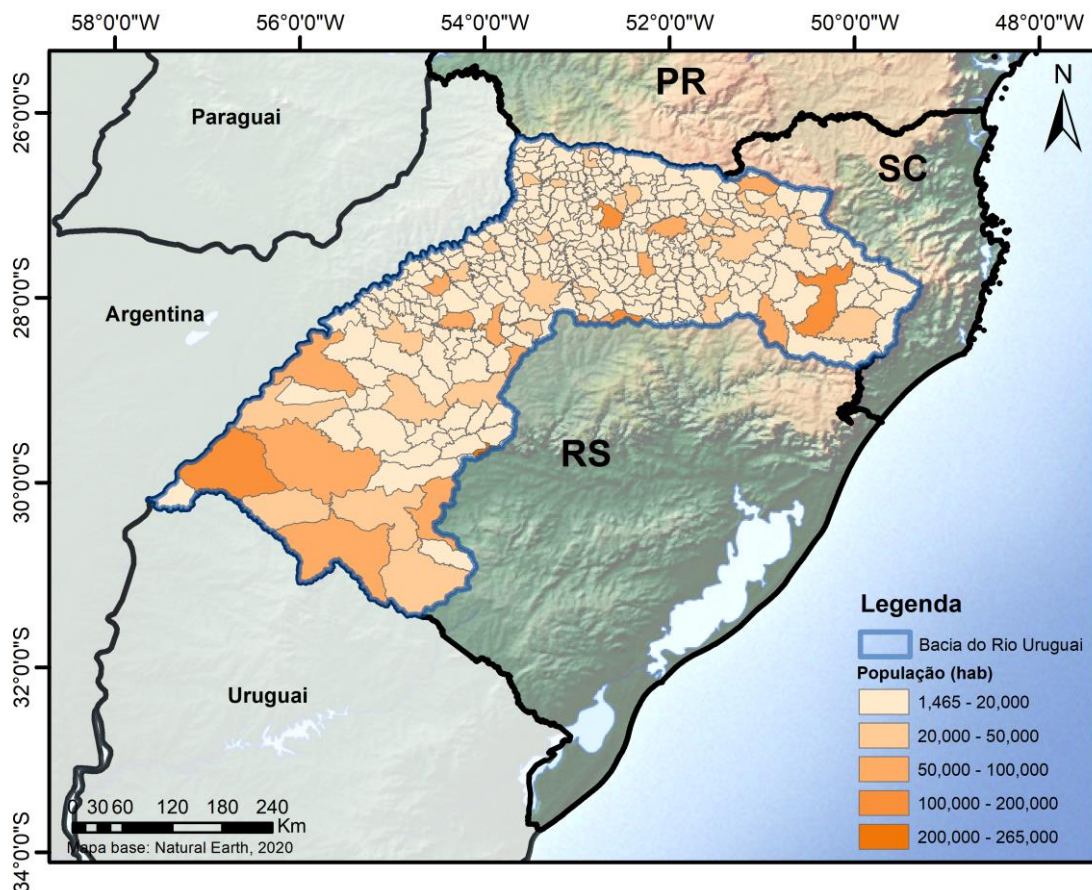


Figura 6. Distribuição da população nos municípios da Bacia do Rio Uruguai. Elaborado pelo Autor (2021) com dados de IBGE (2010).

3. OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DO RIO URUGUAI

Eventos hidrológicos extremos como inundações podem ocorrer em qualquer mês do ano na região da Bacia do Rio Uruguai, e são condicionadas principalmente por dois fatores: a intensidade de chuva e a topografia. Na região do Alto Uruguai, onde a declividade do terreno é mais elevada, os eventos de cheia decorrem de precipitações intensas e localizadas; nos trechos do Médio e Baixo Uruguai as cheias são devido às precipitações de longa duração e grande abrangência espacial (MMA, 2006).

O Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) Uruguai entrou em operação em dezembro de 2018, sendo realizadas previsões de níveis para 6 municípios, todos localizados no Rio Grande do Sul: Uruguai, Itaqui e São Borja (na calha do rio Uruguai), Alegrete (rio Ibirapuitã), Manoel Viana (rio Ibicuí), e Rosário do Sul (rio Santa Maria). Maior detalhamento deste monitoramento é apresentado na próxima seção.

Desde o início da operação foram emitidos ao todo 153 boletins extraordinários de alerta de cheia; a distribuição dos boletins é apresentada na Figura 7.

O acesso às informações do monitoramento SAH Uruguai pode ser realizado através da plataforma [SACE - SAH Uruguai](#) (Sistema de Alerta de Eventos Críticos), que foi desenvolvida pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para disponibilizar todas as informações geradas no contexto dos Sistemas de Alerta Hidrológico.

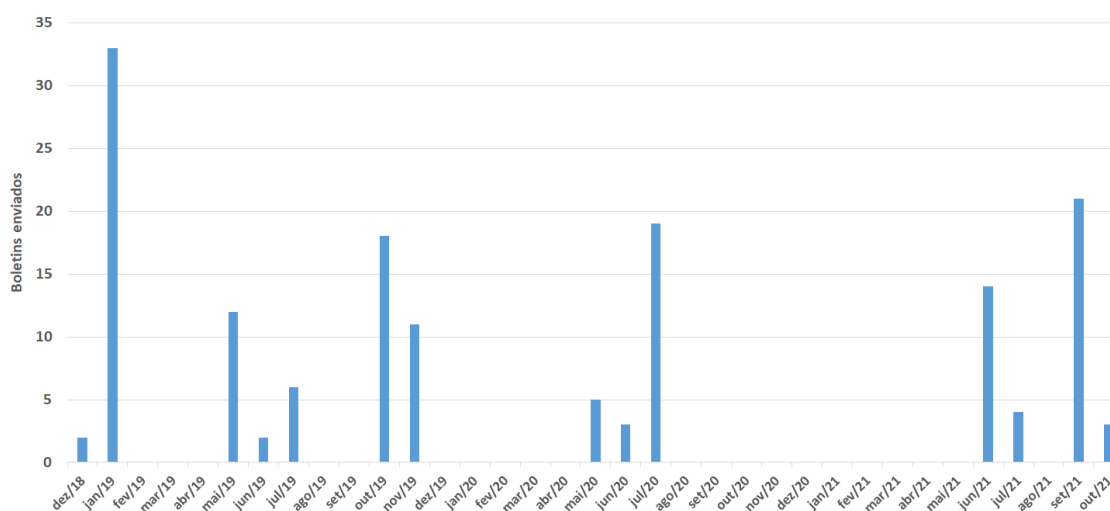


Figura 7. Boletins emitidos desde o início da operação (dez/2018). Elaborado pelo Autor (2021).

4. ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SISTEMA DE ALERTA DO RIO URUGUAI

4.1 Dados Gerais de Monitoramento

As estações fluviométricas e pluviométricas automáticas e telemétricas que compõem o monitoramento hidrometeorológico do SAH Uruguai e subsidiam as previsões hidrológicas estão apresentadas na Figura 8. A lista completa destas estações está apresentada posteriormente na Tabela 2.

Na Figura 8, em destaque, estão as seis estações para as quais se realiza previsão de cheias, são elas: Uruguaiana, Itaqui e Passo São Borja, no rio Uruguai, Manoel Viana no rio Ibicuí, Alegrete no rio Ibirapuitã, e Rosário do Sul no rio Santa Maria. Os municípios nos quais estão localizadas as estações listadas acima estão apresentados na Tabela 1, juntamente com suas respectivas populações, conforme dados do censo IBGE (2010). Ao todo, a população dos municípios atendidos chega a aproximadamente 349 mil habitantes.



Figura 8. Estações fluviométricas telemétricas do SAH Uruguai. Elaborado pelo Autor (2021).

Tabela 1 Municípios atendidos e população

Município	População	Rio
Alegrete	77.653	Rio Ibirapuitã
Itaqui	38.159	Rio Uruguai
Manoel Viana	7.072	Rio Ibicuí
São Borja	61.671	Rio Uruguai
Rosário do Sul	39.707	Rio Santa Maria
Uruguaiana	125.435	Rio Uruguai

Elaborado pelo Autor (2021) com dados de (IBGE, 2010)

4.2 Cotas de Referência e Atualizações

As cotas de referência associadas às inundações fluviométricas graduais se referem à variação dos níveis dos rios dentro de cada município. As cotas de referência são definidas como:

- Cota de atenção: possibilidade moderada de ocorrência de inundação - é o primeiro nível para a equipe de operação ficar a postos para realização de monitoramento, medições e previsões
- Cota de alerta: possibilidade elevada de ocorrência de inundação - quando atingida, a Defesa Civil dos municípios em que há previsão é acionada, e é iniciada a emissão de boletins e a divulgação da previsão hidrológica
- Cota de inundação: cota em que o primeiro dano é observado no município - indica a situação de inundação em algum ponto do município e/ou no entorno

Atualmente existem 28 estações que fazem parte do SAH Uruguai, conforme observado na Figura 8, das quais 22 possuem o levantamento de cotas de referência, conforme apresentado na Tabela 2; também está apresentada a forma de determinação das cotas, se por meio de levantamento com GPS diferencial (DGPS) ou se por meio estatístico, conforme Germano e Matos (2017).

Tabela 2 – Estações do SAH-Uruguai e cotas de referência

Código	Estação	AD (km ²)	Cota de Atenção	Cota de Alerta	Cota de Inundação	Forma de Determinação
76750000	Alegrete	5.867	750	850	970	DGPS
74500000	Alto Uruguai	82.300	1700	1900	2100	DGPS
73960000	Barra do Chapecó Aux.	8.240	520	630	700	Estatística
76240000	Dom Pedrito	2.150	-	-	-	-
71350001	Encruzilhada II	3.230	400	500	600	Estatística
75550000	Garruchos	116.000	1300	1400	1500	DGPS
74300000	Guataporá de Baixo	814	-	-	-	-
74100000	Iraí	61.900	500	600	800	Estatística
74329000	Itapiranga	72.300	500	600	730	DGPS
75900000	Itaqui	131.000	630	730	830	DGPS
72849000	Joaçaba I	3.710	700	800	900	Estatística
74295000	Linha Jataí	300	600	700	800	Estatística
76560000	Manoel Viana	29.400	760	860	960	DGPS
76290000	Passo dos Farrapos	4.610	400	700	-	Estatística
76800000	Passo Mariano Pinto	42.500	-	-	-	-

73820000	Passo Pio X	1.010	600	700	800	Estatística
75780000	Passo São Borja	125.000	700	800	1000	DGPS
76300000	Ponte Ibicuí da Armada	6.010	-	-	-	-
73770000	Porto Faé Novo	5.550	-	-	-	-
74800000	Porto Lucena	95.200	800	900	1000	DGPS
74720000	Porto Mauá	90.700	800	950	1050	DGPS
77500000	Quaraí	4.570	600	750	950	DGPS
72715000	Rio das Antas	801	250	350	450	Estatística
76310000	Rosário do Sul	12.100	450	550	650	Estatística
75230000	Santo Ângelo	5.440	-	-	-	-
72810000	Tangará	2.010	350	450	550	Estatística
77150000	Uruguiana	190.000	650	750	850	DGPS
71200000	Vila Canoas	1.010	500	600	700	Estatística

Elaborado pelo Autor (2021); AD = Área de Drenagem.

4.3 Modelos e Tempo de Antecedência

Os modelos utilizados para fazer previsão são do tipo empíricos, ou seja, baseados em regressões lineares com base nas diferenças de cotas na própria estação e nas estações a montante. A seguir são detalhados os métodos de previsão nas seis estações.

Rio Uruguai

- Uruguiana: previsão com tempo de antecedência = 17h; utiliza as cotas das estações de Uruguiana e Itaqui
- Itaqui: previsão com tempo de antecedência = 15h, utiliza as cotas das estações de Itaqui e Passo São Borja
- São Borja: previsão com tempo de antecedência = 10h, utiliza as cotas das estações de Passo São Borja e Porto Lucena

Rio Ibicuí

- Manoel Viana: previsão com tempo de antecedência = 6h, utiliza a estação Manoel Viana

Rio Santa Maria

- Rosário Do Sul: previsão com tempo de antecedência = 4h, utiliza a estação Rosário do Sul

Rio Ibirapuitã

- Alegrete: previsão com tempo de antecedência = 4h, utiliza a estação de Alegrete

5. EVENTOS OCORRIDOS EM 2021

5.1 Monitoramento pluviométrico

Nas Figuras 9 a 18 estão apresentadas as precipitações acumuladas de janeiro a outubro de 2021, bem como a razão da precipitação acumulada com relação à média histórica mensal (2000 a 2020). Estas informações foram obtidas através do produto MERGE que combina precipitação diária observada por satélite com dados de precipitação de estações pluviométricas (ROZANTE *et al.*, 2010). Em geral são observados se comportamentos distintos da precipitação ao longo da extensão da Bacia do Rio Uruguai. Destacam-se as precipitações elevadas na região oeste do Rio Grande do Sul nos meses de maio, junho e setembro, a qual ocasionou a rápida elevação dos níveis dos rios desta região e resultou em eventos de inundação, e também as precipitações elevadas em setembro e outubro nas regiões do alto e médio Uruguai, que ocasionaram elevações no nível do Rio Uruguai.

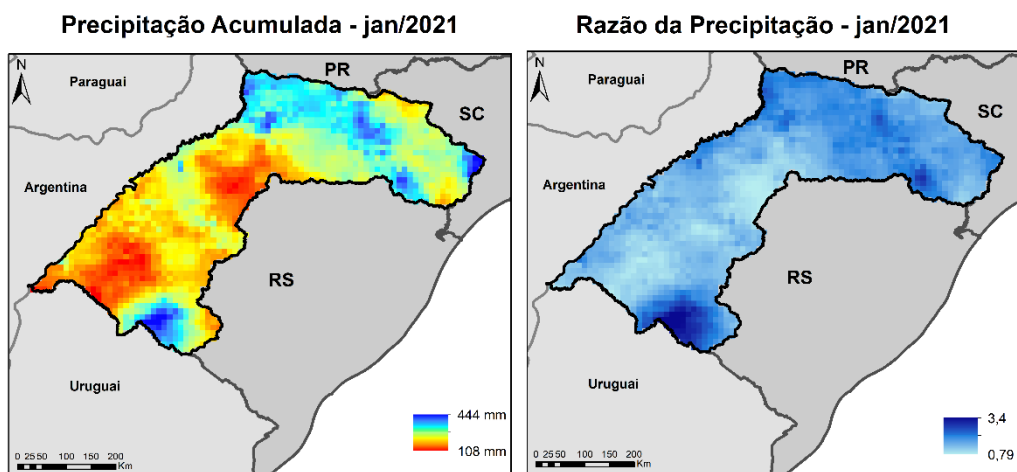


Figura 9. Precipitação acumulada em janeiro de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (Rozante *et al.*, 2010).

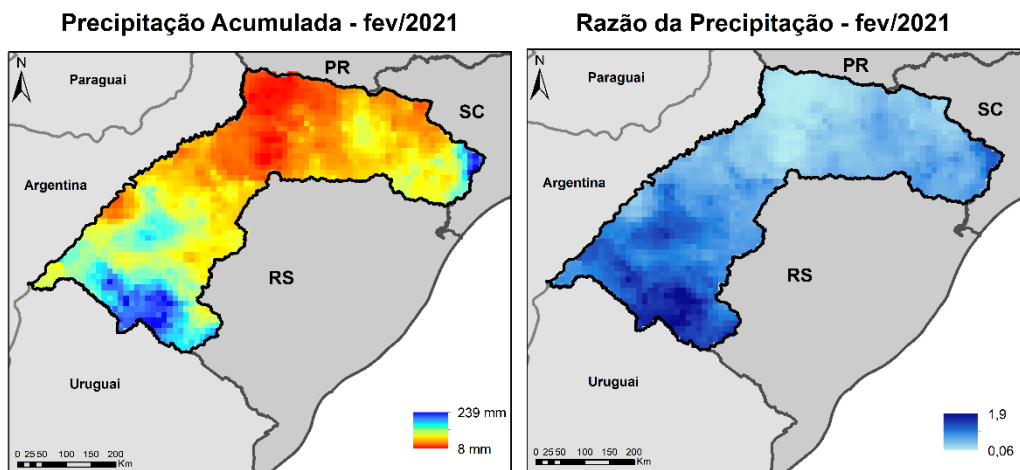


Figura 10. Precipitação acumulada em fevereiro de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE *et al.*, 2010).

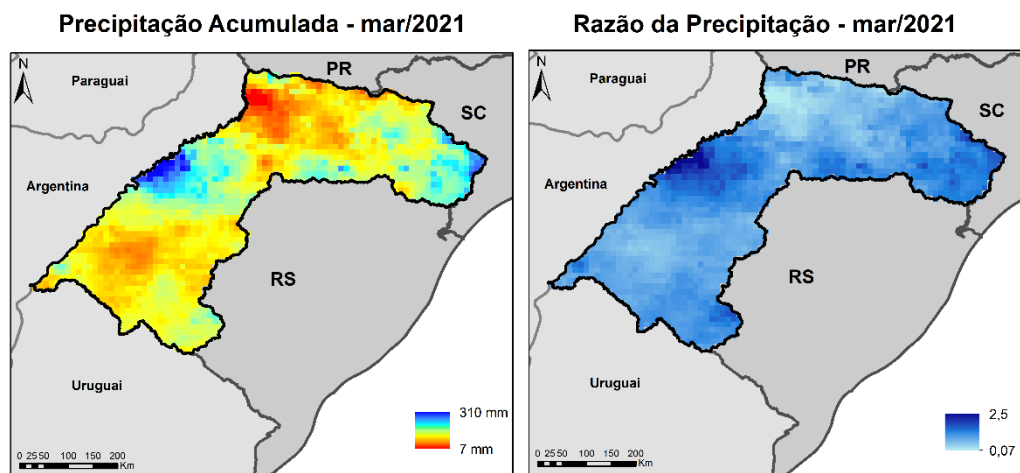


Figura 11. Precipitação acumulada em março de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE *et al.*, 2010).

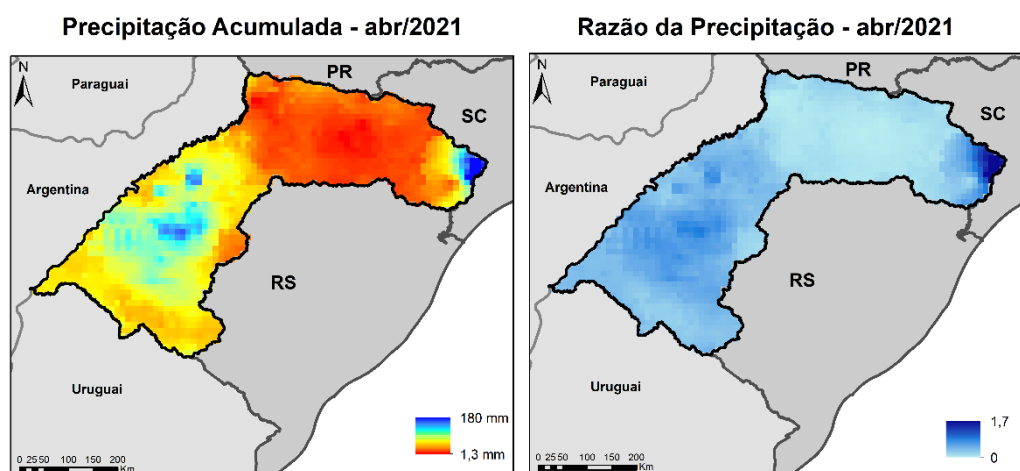


Figura 12. Precipitação acumulada em abril de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE *et al.*, 2010).

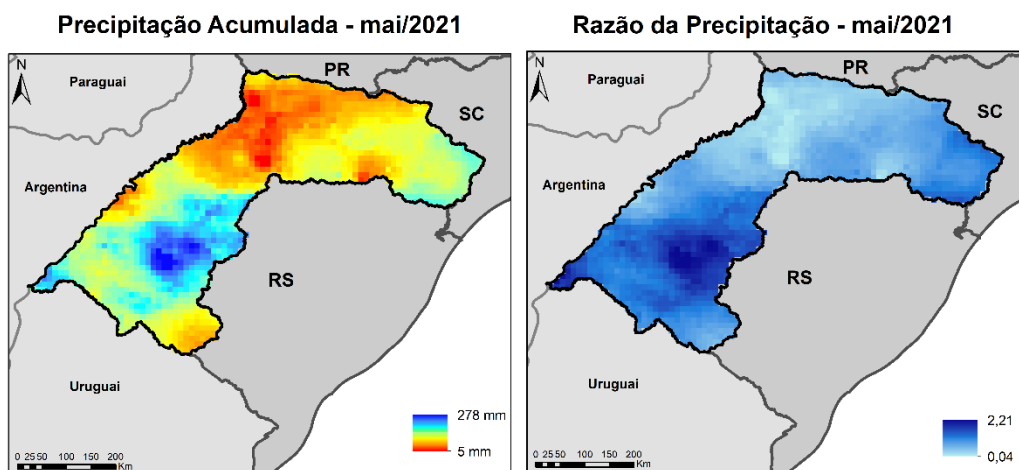


Figura 13. Precipitação acumulada em maio de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE *et al.*, 2010).

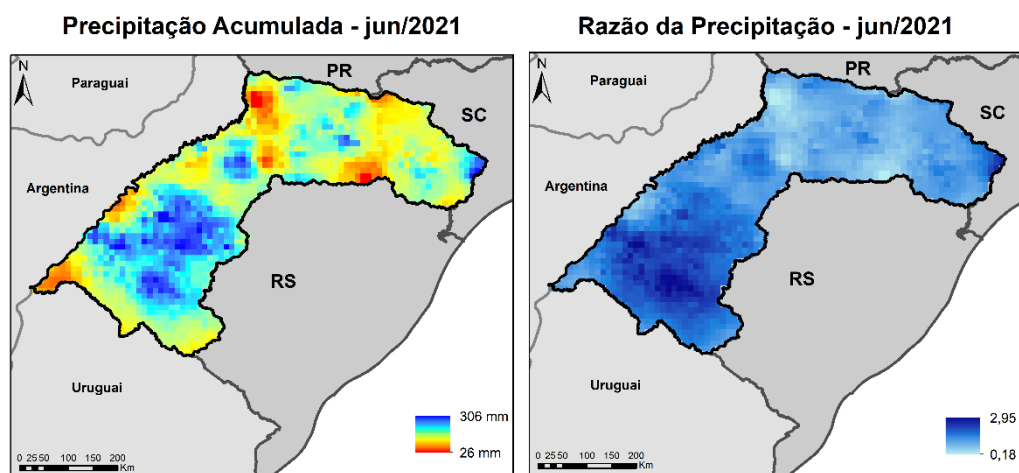


Figura 14. Precipitação acumulada em junho de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE *et al.*, 2010).

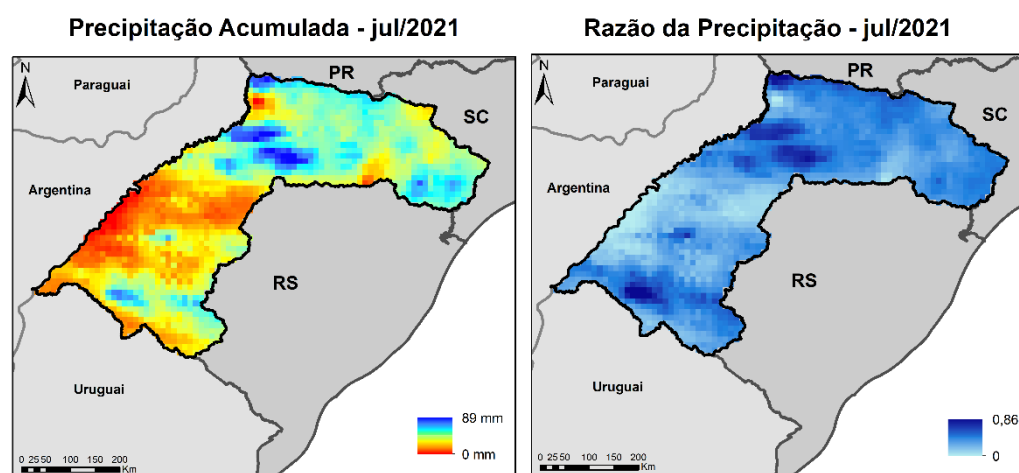


Figura 15. Precipitação acumulada em julho de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE *et al.*, 2010).

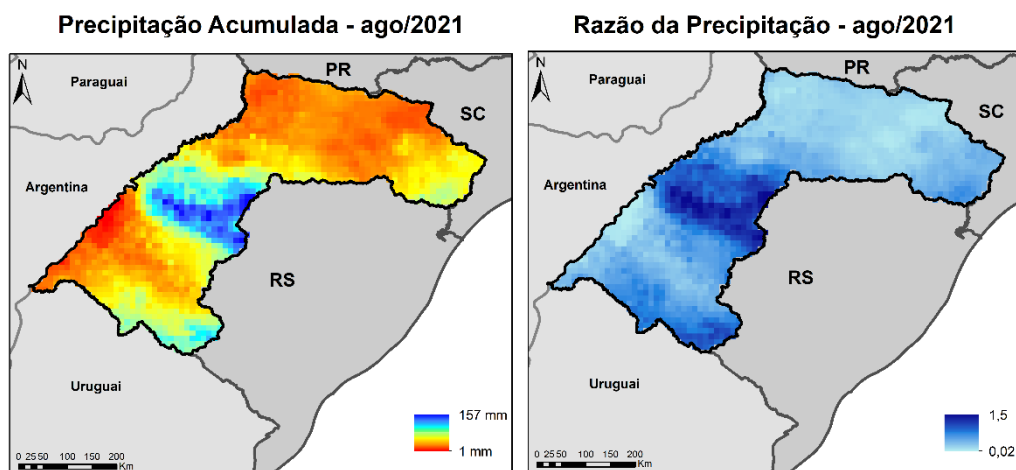


Figura 16. Precipitação acumulada em agosto de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE *et al.*, 2010).

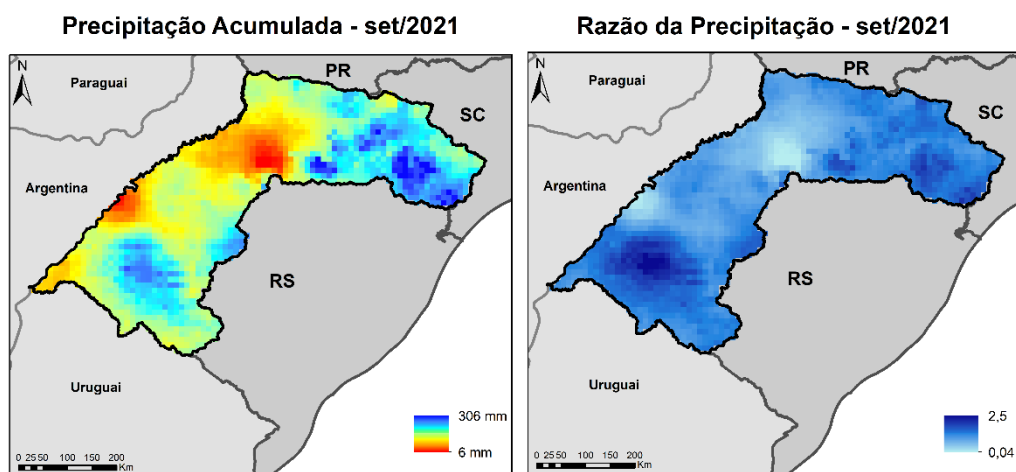


Figura 17. Precipitação acumulada em setembro de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE *et al.*, 2010).

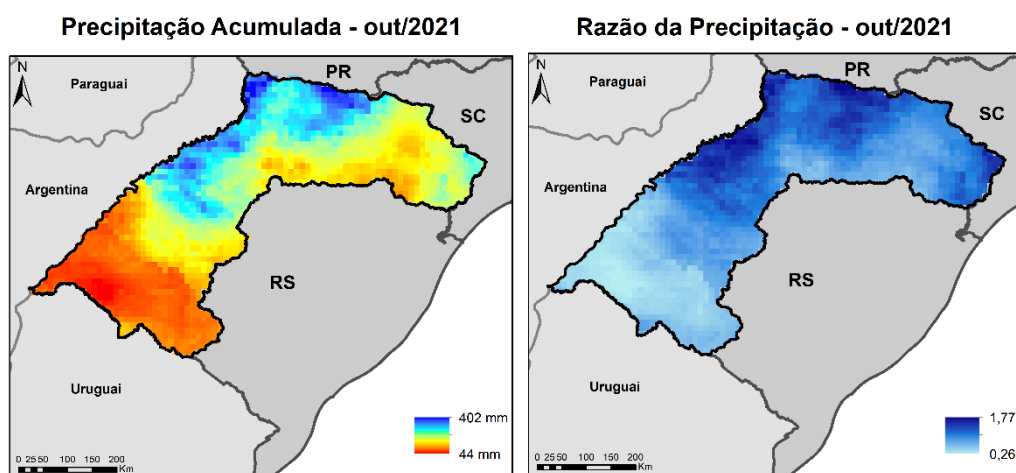


Figura 18. Precipitação acumulada em outubro de 2021 e razão da precipitação. Elaborado pelo Autor (2021) com dados do produto MERGE (ROZANTE *et al.*, 2010).

5.2 Monitoramento fluviométrico

Nas Figuras 19 a 24 está apresentado o monitoramento dos níveis dos rios ao longo do ano de 2021, até novembro, nas seis estações fluviométricas nas quais se realiza previsão de níveis.

Nas estações localizadas no rio Uruguai as maiores cotas observadas ocorreram em janeiro, junho e outubro. Já nas estações localizadas na região oeste do Rio Grande do Sul, os maiores eventos observados ocorreram em junho e setembro, sendo que em ambos as cotas de inundação foram atingidas em Alegrete.

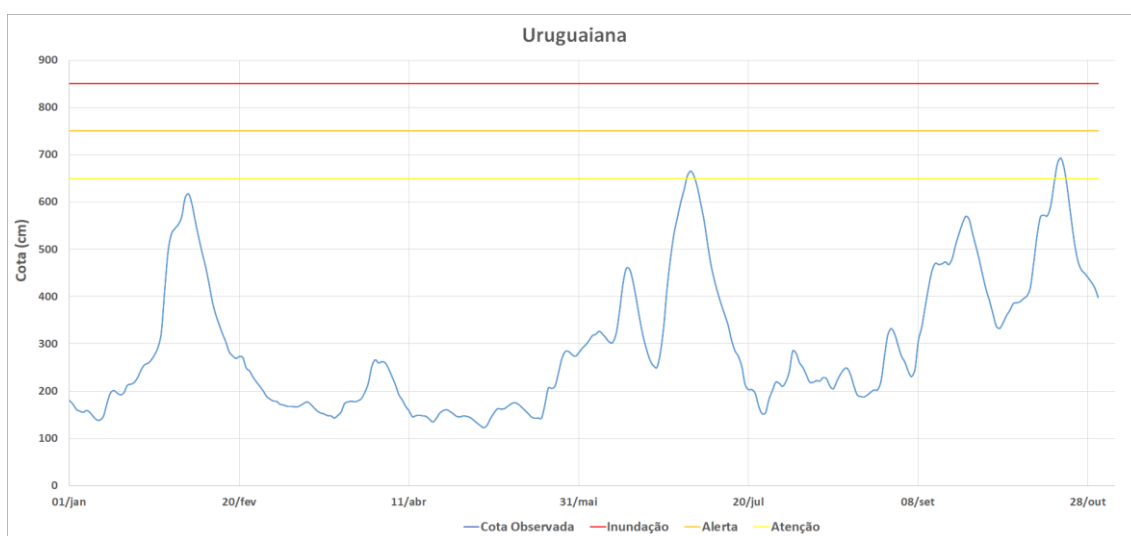


Figura 19. Monitoramento Fluviométrico em Uruguaiana no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).

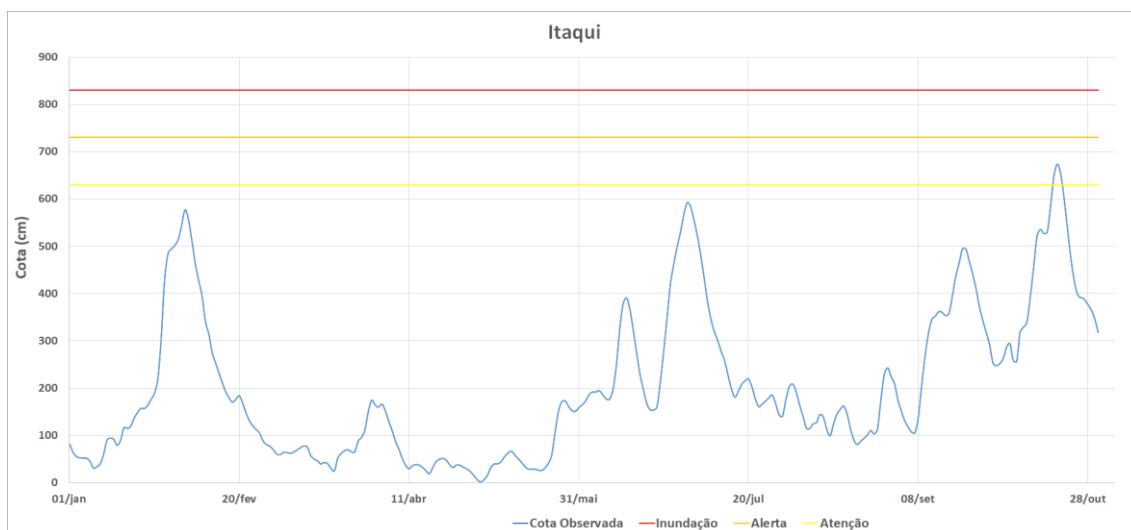


Figura 20. Monitoramento Fluviométrico em Itaqui no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).

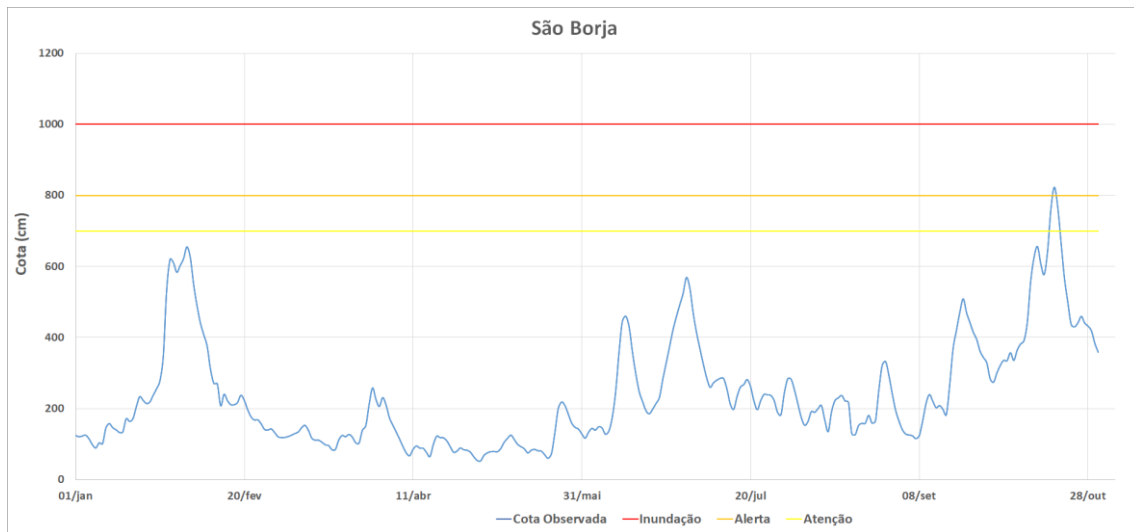


Figura 21. Monitoramento Fluviométrico em Passo São Borja no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).

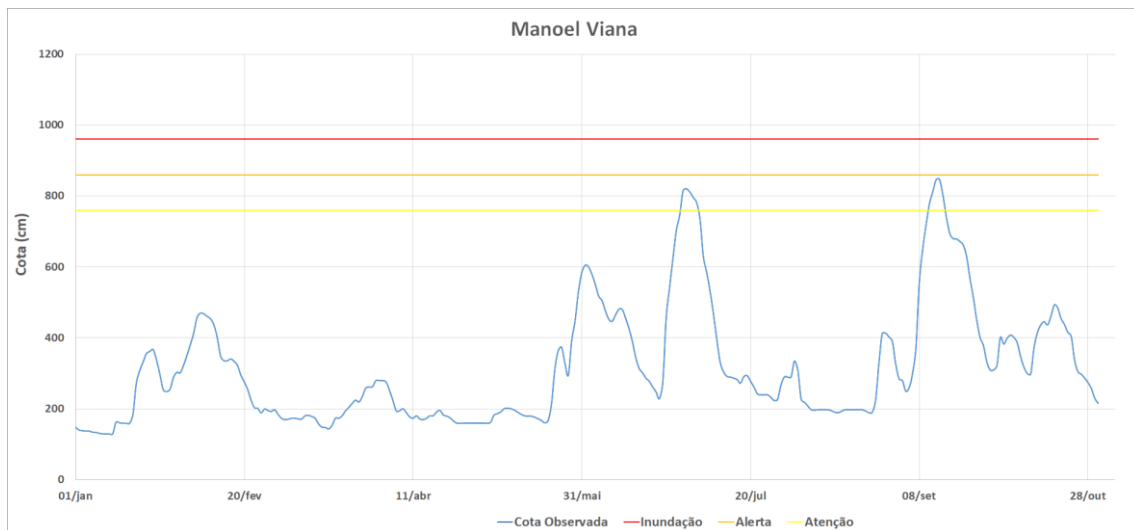


Figura 22. Monitoramento Fluviométrico em Manoel Viana no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).

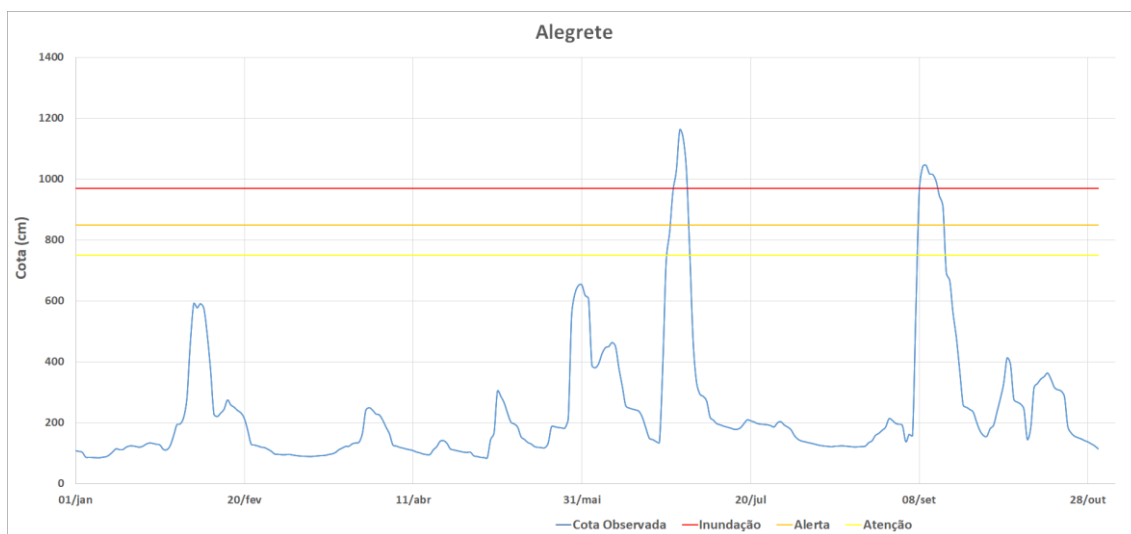


Figura 23. Monitoramento Fluviométrico em Alegrete no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).

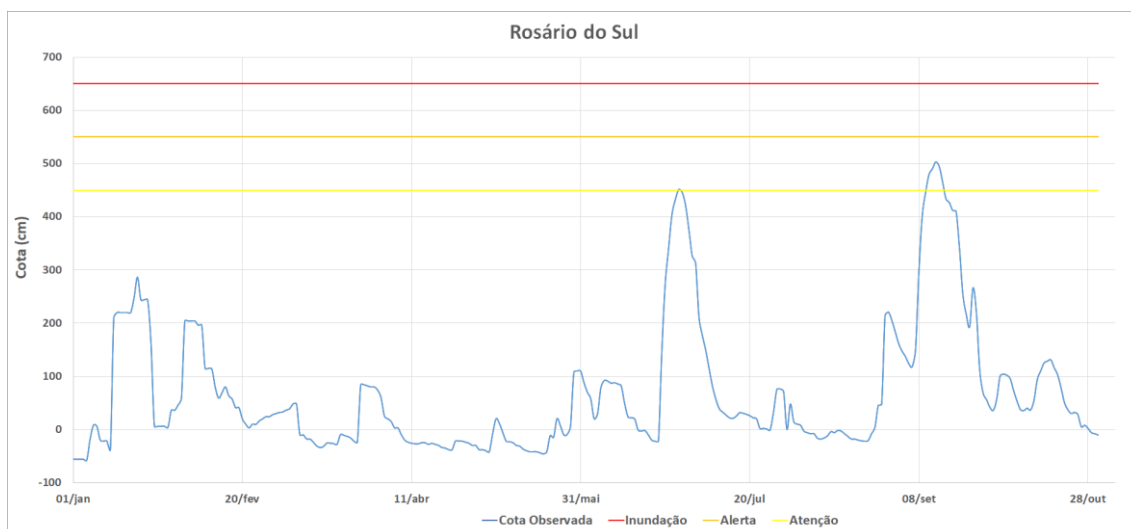


Figura 24. Monitoramento Fluviométrico em Rosário do Sul no ano de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).

5.3 Eventos ocorridos em 2021

Em 2021 foram enviados 42 boletins extraordinários com previsão de níveis, distribuídos nos meses de junho e julho, setembro e outubro, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Boletins de previsão emitidos em 2021

Mês	Boletins	Evento
Junho e Julho	18 (26/06 a 02/07)	Inundação em Alegrete, e Atenção em Manoel Viana e Rosário do Sul
Setembro	21 (08/09 a 15/09)	Inundação em Alegrete, e Atenção em Manoel Viana e Rosário do Sul
Outubro	3 (18/10 a 19/10)	Alerta em São Borja, e Atenção em Itaqui

Elaborado pelo Autor (2021).

5.3.1 Eventos ocorridos em 2021: junho e julho

Na estação pluviométrica convencional de Alegrete foi registrada precipitação acumulada de 121,6mm no dia 24/junho e 66,3mm no dia 27/junho, ocasionando a rápida elevação nos níveis do rio Ibirapuitã em Alegrete. Conforme pode ser observado na Figura 25, o nível do rio Ibirapuitã ultrapassou a cota de inundação (970cm) no dia 27/junho; a cota máxima registrada foi de 1054cm no dia 29/junho.

Mais informações sobre o evento podem ser obtidas em CPRM (2021), Santos (2021) e Favero (2021).

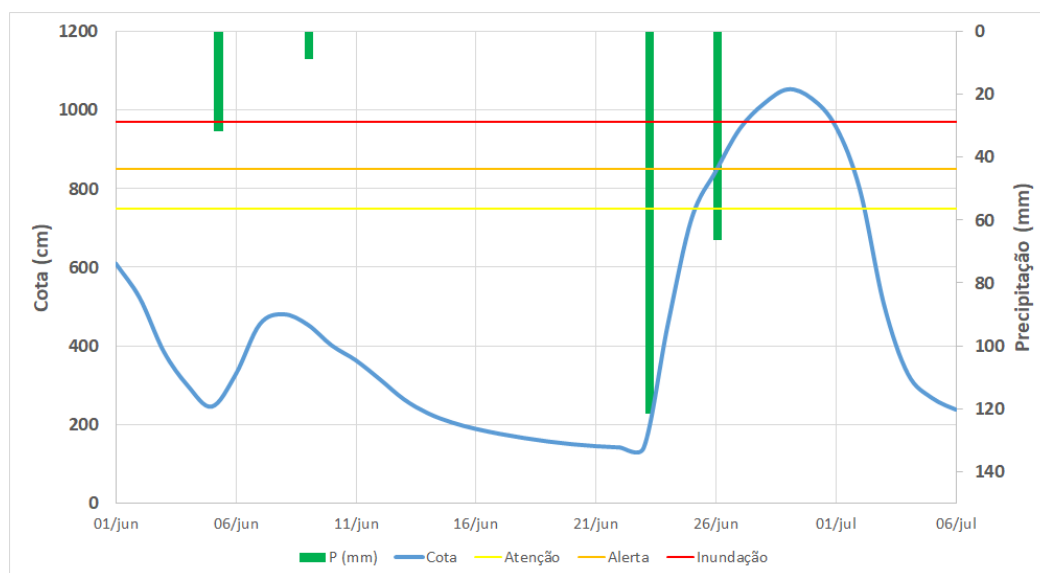


Figura 25. Inundação em Alegrete em junho/julho de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).

5.3.2 Eventos ocorridos em 2021: setembro

Na estação pluviométrica convencional de Alegrete foi registrada precipitação acumulada de 107,8mm no dia 7/setembro, 148,33mm no dia 8/setembro, e 12,4mm no dia 9/setembro, ocasionando a rápida elevação nos níveis do rio Ibirapuitã em Alegrete. Conforme pode ser observado na Figura 26, o nível do rio Ibirapuitã ultrapassou a cota de inundação (970cm) no dia 8/setembro; a cota máxima registrada foi de 1047cm no dia 09/setembro.

Mais informações sobre o evento podem ser obtidas em Medeiros (2021) e Pedroso (2021).

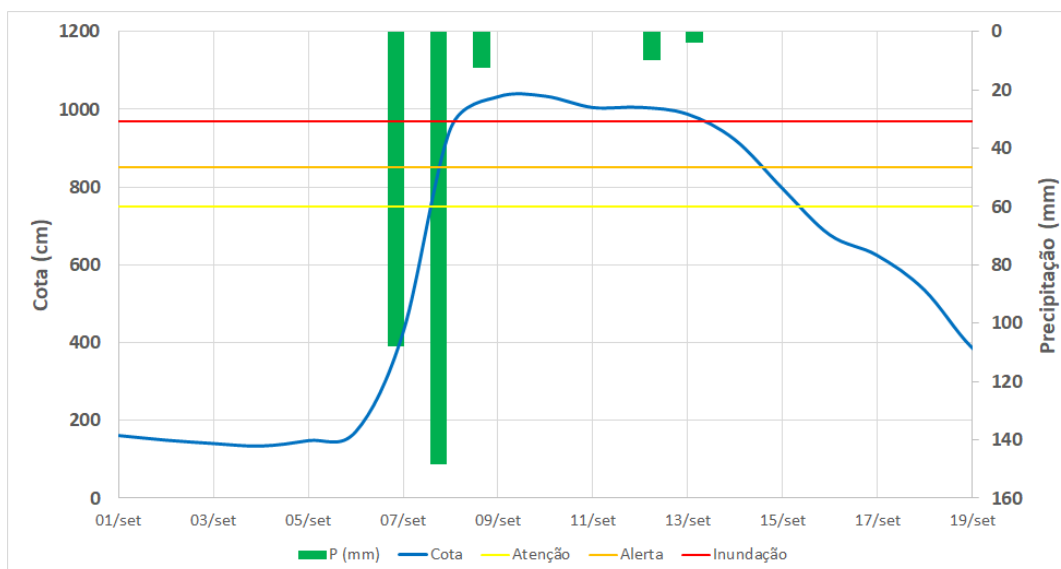


Figura 26. Inundação em Alegrete em setembro de 2021. Elaborado pelo Autor (2021).

6. ESTUDOS EM DESENVOLVIMENTO E PUBLICAÇÕES

No período que compreende este relatório de operação foram desenvolvidos dois estudos que resultaram em artigos científicos, os quais foram submetidos ao XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (2021):

- Avaliação das Anomalias de Precipitação na Bacia do Rio Uruguai entre 2019 e 2021 (Mattiuzi, 2021): neste trabalho foram avaliadas as anomalias de precipitação entre maio de 2019 e abril de 2021 em relação à média histórica, utilizando precipitação medida por satélite do produto GPM (Global Precipitation Measurement) para analisar o comportamento da precipitação na extensão da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai e relacionar com as condições do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul).
- Aplicação do Modelo de *Machine Learning M5 Model Tree* para Previsão de Níveis Diários na Bacia do Rio Uruguai (MATTIUZI *et al.*, 2021): neste estudo foram calibrados modelos de previsão de níveis para horizontes de 1, 2 e 3 dias para a estação Passo São Borja, no rio Uruguai, utilizando o algoritmo *M5 Model Tree*; como variáveis de entrada foram utilizados os níveis da própria estação e de estações a montante, bem como precipitação de satélite na área de drenagem da bacia que corresponde a estação fluviométrica. Os resultados obtiveram valores de eficiência de Nash-Sutcliffe entre de 0,97 a 0,91 e valores de eficiência de Kling-Gupta entre 0,98 a 0,88.

7. OUTRAS PUBLICAÇÕES

A seguir são listados outros estudos já publicados na área de abrangência do Sistema de Alerta Hidrológico do Rio Uruguai.

7.1 Diagramas Unifilares

Os diagramas unifilares e mapeamento das estações nas sub-bacias que estão contidas na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai estão disponíveis para consulta e download nos seguintes repositórios:

- [Bacia 70 a 74](#) (ALMEIDA *et al.*, 2016)
- [Bacia 75 a 79](#) (SOUZA *et al.*, 2017)

7.2 Equações IDF

As equações Intensidade-Duração-Frequência de municípios atendidos pelo SAH Uruguai, desenvolvidas no âmbito do Projeto Atlas Pluviométrico, estão disponíveis para consulta e download nos seguintes repositórios:

- [Uruguiana](#) (WESCHENFELDER; PICKBRENNER; PINTO, 2020)
- [São Borja](#) (WESCHENFELDER; PICKBRENNER; PINTO, 2020)

7.3 Gestão Territorial

Os relatórios de ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes estão disponíveis para consulta e download nos seguintes repositórios:

- [Uruguiana](#) (HOELZEL; LAMBERTY, 2014)
- [Itaqui](#) (SILVA; SILVA, 2013a)
- [Alegrete](#) (SILVA; SILVA, 2013b)
- [Rosário do Sul](#) (SILVA; SILVA, 2012)

O relatório de setorização de áreas em alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações está disponível para consulta e download no seguinte repositório:

- [São Borja](#) (PEIXOTO; HOEZEL, 2015)

8. PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS

Em março e julho de 2021 foram realizadas duas edições do Curso de Percepção e Mapeamento de Áreas de Risco Geológico, o qual foi organizado pela equipe do Departamento de Gestão Territorial da CPRM/SGB. O objetivo do evento foi *“transmitir conceitos, critérios e aspectos metodológicos relacionados ao reconhecimento, caracterização e delimitação de áreas de risco geológico, com vistas a aprimorar o desempenho dos profissionais que desenvolvem atividades de planejamento urbano e prevenção de desastres”*, e o público-alvo consistiu de profissionais com atuação em atividades de planejamento urbano, Defesa Civil e prevenção de desastres. Em ambas edições do curso representantes do SAH-Uruguai e SAH-Caí ministraram a palestra *“Sistema de Alertas de Eventos Extremos - Alerta e monitoramento de eventos extremos e recursos disponíveis”*, cujo objetivo era apresentar e difundir o monitoramento hidrometeorológico, o Sistema de Alerta Hidrológico e os recursos disponíveis para acessar estas informações.

9. AGRADECIMENTOS

A operação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Uruguai é possível com a utilização dos dados hidrológicos provenientes da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e demais parceiros. Por meio de Termo de Execução Descentralizada (TED) de operação da RHN, a Agência Nacional de Águas disponibiliza apoio operacional e financeiro para operação e manutenção das estações da RHN/RHNR, bem como para uso de equipamento de medição.

10. CONCLUSÕES

No ano de 2021, conforme os dados fluviométricos e pluviométricos observados, foram registrados meses com precipitações acima da média histórica na região oeste do Rio Grande do Sul, sendo que nos meses de junho e setembro as precipitações intensas ocasionaram a rápida elevação dos níveis dos rios desta região resultando em eventos de inundação; nas regiões do alto e médio Uruguai, as precipitações elevadas nos meses de setembro e outubro ocasionaram

elevações no nível do Rio Uruguai. A operação do SAH-Uruguai em 2021 resultou no envio de 42 boletins com previsão de níveis.

Informações sobre o SAH-Uruguai podem ser acessadas em <https://www.cprm.gov.br/sace/uruguai>.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKER, J.G.; LEPTOUKH, G. Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data”. **AGU**, v. 88, n. 2, p.14 e 17.

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: 05 nov. 2021..

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Hidroweb**: Downloads; Inventário Brasília, DF: ANA, 2021. (Atualizado em 05/11/2021). Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download>. Acesso em: 05 nov. 2021.

FAVERO, F. A. Um outro olhar para imagens do Ibirapuitã desabrigando famílias. **Portal Alegrete Tudo**, Alegrete, RS, 30 jun. 2021. Disponível em: <https://www.alegretetudo.com.br/um-outro-olhar-para-imagens-do-ibirapuita-desabrigando-familias/>. Acesso em: 05 nov. 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: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20144>. Acesso em: 05 nov. 2021.

HUFFMAN, G. J.; STOCKER, E. F.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; TAN, J. GPM IMERG Late Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06” Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). [s.l.]: [s.n.], 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**: censo 2010. Brasília, DF: IBGE, 2020. Disponível em: www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=downloads. Acesso em: 05 nov. 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/handle/doc/18489>. Acesso em: 05 nov. 2021.

MATTIUZI, C. D. P. Avaliação das anomalias de precipitação na Bacia do Rio Uruguai entre 2019 e 2021. *In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 24., 2021, Belo Horizonte. **Anais[...]**. Belo Horizonte: ABRH, 2021. (Inédito)

MATTIUZI, C. D. P.; MATOS, A. J. S.; BUFFON, F. T. Aplicação do Modelo de Machine Learning M5 Model Tree para previsão de níveis diários na Bacia do Rio Uruguai. *In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 24., 2021, Belo Horizonte. **Anais[...]**. Belo Horizonte: ABRH, 2021. (Inédito)

MEDEIROS, J. Vídeos: Ibirapuitã não para de crescer e cheia continua desabrigando famílias. **Portal Alegrete Tudo**, Alegrete, RS, 09 set. 2021. Disponível em: <https://www.alegretetudo.com.br/videos-ibirapuita-nao-para-de-crescer-e-cheia-continua-desabrigando-familias/>. Acesso em: 09 set. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Caderno da região hidrográfica do Uruguai**. Brasília, DF: MMA, 2006.

PEDROLLO, M; SOTERIO, P.; BELING, F. **Proposta Técnica**: Projeto “Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do Rio Uruguai”. Porto Alegre: CPRM, 2014.

PEDROSO, V. S. Ibirapuitã deve atingir cota de inundação ainda hoje. **Portal Alegrete Tudo**, Alegrete, RS, 08 set. 2021. Disponível em: <https://www.alegretetudo.com.br/ibirapuita-deve-atingir-cota-inundacao-ainda-hoje/>. Acesso em: 08 set. 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: 08 set. 2021.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. .M.; PICKBRENNER, K.; SALGUEIRO, J. P. de B.; SOUSA, H. R. **Atlas pluviométrico do Brasil**: isoetas mensais, isoetas trimestrais, isoetas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília/DF: CPRM, 2011.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES., L. G. G.; VILA, D. A. Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America. **Weather and Forecasting**, v. 25, p. 885-894, 2010.

SANTOS, J. C. Rio Ibirapuitã mantém famílias desalojadas e tendência é de estabilização a partir de quarta-feira. **Portal Alegrete Tudo**, Alegrete, RS, 29 jun. 2021. Disponível em: <https://www.alegretetudo.com.br/rio-ibirapuita-mantem-familias-desalojadas-e-tendencia-e-de-estabilizacao-a-partir-de-quarta-feira/>. Acesso em: 08 set. 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Rio Ibirapuitã atinge cota de inundação em Alegrete, no RS. **Notícias**, Brasília, DF 28, jun. 2021. Disponível em:

<https://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Rio-Ibirapuita-atinge-cota-de-inundacao-em-Alegrete%2C-no-RS-6787.html>. Acesso em: 05 nov. 2021.

SILVA, D. R. A. da; SILVA, P. R. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa**: Rosário do Sul, Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2012. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20134>. Acesso em: 08 set. 2021.

SILVA, D. R. A. da; SILVA, P. R. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes**: Itaqui, RS. Porto Alegre: CPRM, 2013a. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20111>. Acesso em: 08 set. 2021.

SILVA, D. R. A. da; SILVA, P. R. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes**: Alegrete, RS. Porto Alegre: CPRM, 2013b. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20084>. Acesso em: 08 set. 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 Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 21, n. 2, p. 65-74, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17839>. Acesso em: 04 nov. 2021.

WESCHENFELDER, A.B.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A. **Atlas Pluviométrico do Brasil**: Equações Intensidade-Duração-Frequência: município São Borja/RS, estação pluviométrica: Passo São Borja, código 02856006 (ANA). Porto Alegre: CPRM, 2020a. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21943>. Acesso em: 04 nov. 2021.

WESCHENFELDER, A. B.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A. **Atlas Pluviométrico do Brasil**: Equações Intensidade-Duração-Frequência: município Uruguaiana/RS, estação pluviométrica: Uruguaiana, códigos 02957001 (ANA) e 83927 (INMET). Porto Alegre: CPRM, 2020b. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21944>. Acesso em: 04 nov. 2021.