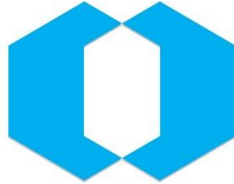


**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM  
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA – DEHID**



**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL  
CPRM**

**Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Caí (SAH-Caí)**

**RELATÓRIO DE OPERAÇÃO 2020**

**Elaboração:**

*Emanuel Duarte*

*Pesquisador em Geociências – Engenheiro*

*Hidrólogo – SUREG/PA*

**Execução:**

*Superintendência Regional de Porto Alegre –*

*SUREG/PA*

**Novembro/2020**

---

## SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO .....	4
2	INTRODUÇÃO .....	4
2.1	Características da Bacia.....	4
2.2	Histórico de Cheias .....	7
2.3	Histórico de Operacional .....	7
2.4	Características do SAH-Caí .....	8
3	EVENTOS HIDROLOGICOS OBSERVADOS EM 2020.....	10
4	CONSOLIDAÇÃO DE RESULTADOS OPERACIONAIS.....	17
5	REFERÊNCIAS.....	18

## **AGRADECIMENTOS**

A operação do sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Caí, no período de novembro de 2019 a novembro de 2020, só foi 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.

## **1 APRESENTAÇÃO**

Este relatório apresenta de forma sintética as atividades executadas durante a operação do Sistema de Alertas Hidrológicos da Bacia do Caí (SAH-Caí) no ano de 2020, com uma breve descrição dos eventos hidrológicos monitorados e os resultados obtidos. A operação é fruto da parceria entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Agência Nacional de Águas (ANA).

## **2 INTRODUÇÃO**

As inundações na bacia do rio Caí estão, sem dúvida, entre os aspectos mais críticos no que concerne aos recursos hídricos desta bacia. O trecho baixo do rio Caí, da cidade de São Sebastião do Caí até a foz, que apresenta um relevo plano e de cotas baixas, é marcado pela ocorrência de inundações nas áreas urbanas de alguns municípios, especialmente Montenegro e São Sebastião do Caí. Não sem razão, as cheias na bacia são uma das principais preocupações do comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica do rio Caí.

O ano de 2009 foi marcado pelo início dos estudos de viabilidade e concepção dos Sistema de Alertas Hidrológicos da Bacia do Rio Caí (SAH-Caí). No dia 04 de fevereiro de 2010 se iniciou a instalação das estações de monitoramento hidrológico automáticas na bacia. A rede de monitoramento é constituída de 8 pontos, com estações telemétricas que transmitem em tempo real dados de chuva e níveis dos rios via satélite, associada a um sistema de recepção de dados e previsão de níveis. O Sistema de Alerta prevê, com antecipação de 10 horas, o nível que o rio Caí atingirá nas cidades gaúchas de São Sebastião do Caí e Montenegro.

A partir do monitoramento e da previsão hidrológica. As informações são divulgadas através do site da CPRM e os boletins de previsão são encaminhados para o CEMADEN, ANA, CENAD, Defesa civil municipal e estadual, conforme protocolo estabelecido pela portaria nº 148 de 18 de dezembro de 2013, de modo que sejam tomadas as medidas necessárias para a redução dos prejuízos pessoais e materiais causados pelas inundações.

### **2.1 Características da Bacia**

A bacia hidrográfica do Rio Caí está situada na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul entre as coordenadas 29° 06' a 30° 00' de latitude e 50° 24' de longitude oeste, conforme figura 01, possuindo uma área de 4.983,38 km<sup>2</sup>, atinge total ou parcialmente 42 municípios e abriga aproximadamente 490.000 habitantes, somente os municípios de São Sebastião do Caí e Montenegro, situados no baixo curso, abrigam pouco mais de 90.000 habitantes (Revista do Plano Caí, 2007).

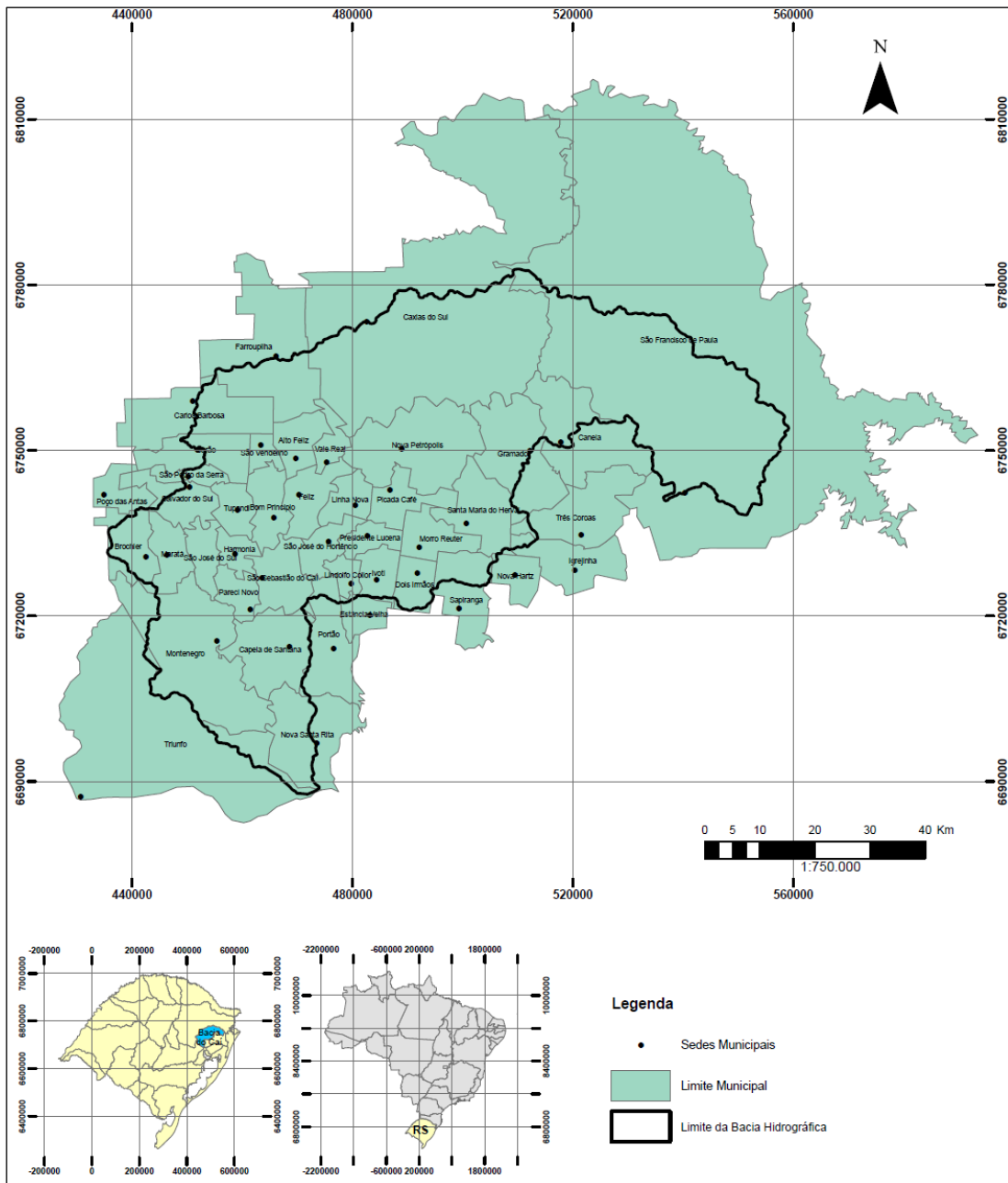


Figura 1: Bacia do Rio Caí localização espacial.

Fonte: Adaptado de Plano de Bacia do Rio Caí (2007)

O curso de água principal é denominado rio Caí, figura 02, dividido em alto, médio e baixo Caí, nasce no planalto da Serra Geral no município de São Francisco de Paula, entre as altitudes de 900 e 1000m. Recebe o nome de rio Santa Cruz até a divisa dos municípios de Canela e Gramado, percorre 195 km até desembocar no delta rio do Jacuí, em frente a Ilha Grande dos Marinheiros, nas proximidades do povoado de Morretes. Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios do Caracol, Pinto, Pirajá e Cadeia, e pela margem direita são os rios Divisa, Muniz, Macaco, Piaí, Ouro, Mauá e Maratá, entre esses os de maior volume de contribuição são o Cadeia,

Forromeco, Piaí e Marata. Destaca-se ainda a existência de barragens no alto curso, Salto, Blang e Divisa (Pedrollo, 2013).

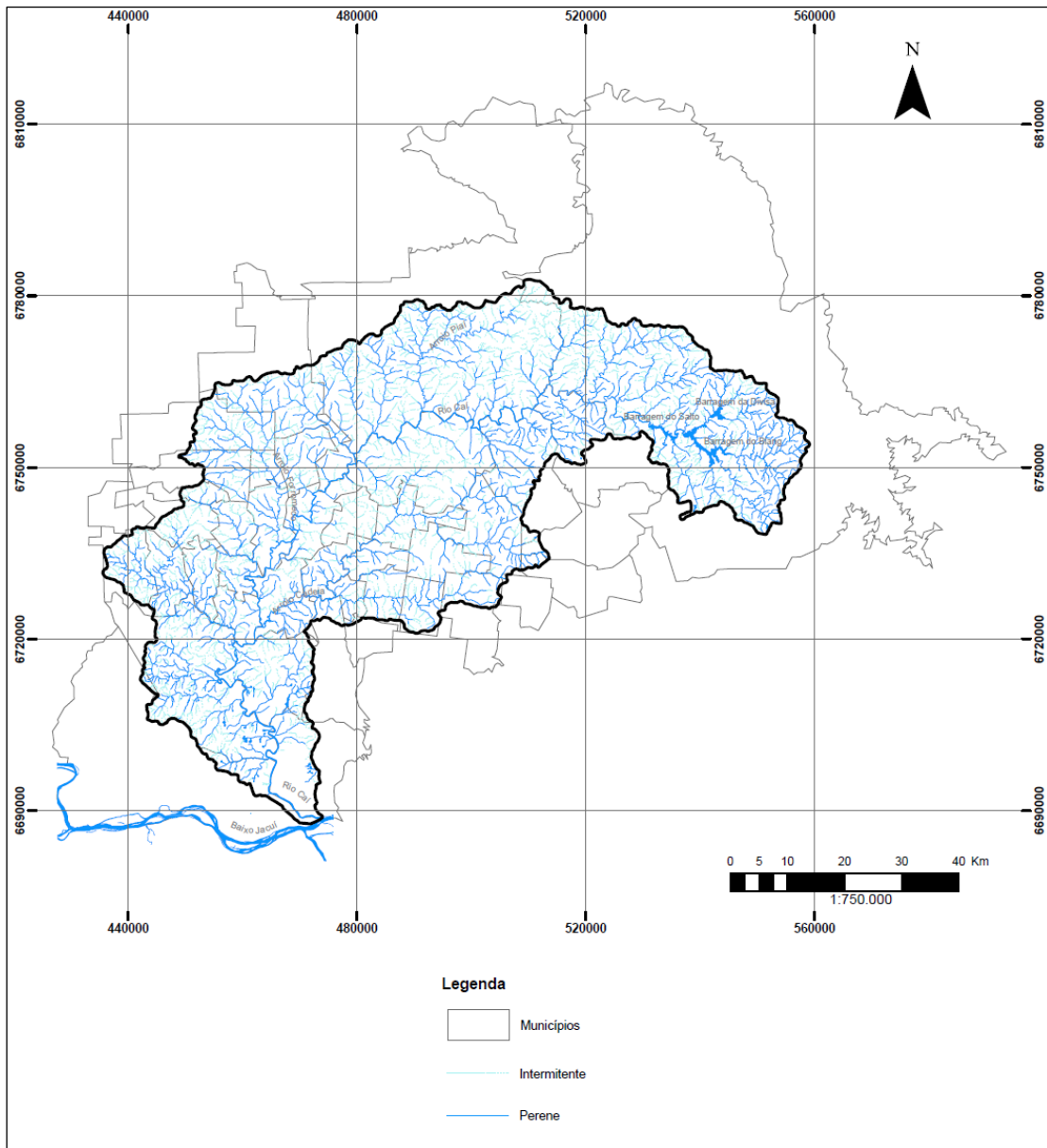


Figura 2: Hidrografia Bacia do Rio Caí  
Fonte: Adaptado de Plano de Bacia do Rio Caí (2007)

Na Bacia do Rio Caí, grande parte dos eventos de cheias podem ser classificados como do tipo rápido, ou seja, com ascensão do curso de água a níveis de extravasamento em algumas horas e com duração de alguns dias, no entanto existe grande variabilidade quanto ao tipo de evento, estando intimamente ligados à condição meteorológica que os originou, apresentam ocorrência em qualquer época do ano, entretanto, julho é o mês com maior número de ocorrências registradas. Em relação à frequência de cheias, em São Sebastião do Caí, numa análise de 74 anos de dados, de 1947 a 2020, apenas em 11 anos o rio Caí não atingiu a cota de início de inundação

(1000 cm), na última década em todos os anos a cota foi ultrapassada. Em Montenegro, num período de 81 anos, 1940 a 2020, a cota de início de inundação, 600cm, também só não foi ultrapassada em 11 anos. Os anos de 2013, 2015, 2016 e 2020 foram marcados por grandes eventos hidrológicos, resultantes da formação de sistemas convectivos de chuvas (2013, 2015 e 2016) e em 2020 um ciclone extratropical (ciclogênese explosiva ou ciclone bomba).

## 2.2 Histórico de Cheias

A elevada ocupação da planície de inundação nos municípios de São Sebastião do Caí - RS e Montenegro - RS levaram a população a conviver com constantes eventos de inundações desde o início de seu povoamento. Os tempos de retornos para as cotas de inundação em São Sebastião do Caí (1000 cm) e Montenegro (600 cm), são de aproximadamente 1,2 e 1,1 anos respectivamente, o que representa inundações quase que anuais na região. A Tabela 1 apresenta uma síntese das 10 maiores inundações ocorridas em ambos os municípios, de acordo com a série hidrológica das estações 87170000 (São Sebastião do Caí) iniciada em 1947 e 87270000 (Montenegro) iniciada em 1940. É importante destacar que existem registros históricos de inundações na região que remetem ao ano de 1875 conforme descrito por Schröder (2013).

Tabela 1: Níveis máximos observados nas estações 8717000 e 87270000

Estação 87170000		Estação 87270000	
Ano	Cota (cm)	Ano	Cota (cm)
2007	1470	1941	920
2016	1466	2007	870
2011	1462	2016	864
1956	1450	1941	860
2009	1428	2011	856
2020	1404	2009	854
1954	1390	2013	854
2013	1388	1982	852
1965	1374	1942	838
1980	1374	1967	832

## 2.3 Histórico de Operacional

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM deu início, em 2009, aos estudos de concepção do Sistema de Alertas Hidrológicos da Bacia do Rio Caí (SAH-Caí). Entre os anos de 2010 e 2011 foram realizadas as instalações dos primeiros equipamentos automáticos de medição, dotados de transmissão via GPRS (telefonia móvel), posteriormente, em 2018, os equipamentos de medição passam por um processo de modernização adotando a tecnologia de transmissão via satélite (GOES). No dia

17/09/2012 o SAH-Caí emitiu o seu primeiro boletim de alerta, mantendo a sua operação ininterrupta até o presente momento. A Tabela 2 apresenta uma síntese do número de eventos hidrológicos onde a cota de alerta foi atingida e a quantidade de boletins emitidos por ano no período compreendido entre 2012 e 2020.

Tabela 2: Produção SAH-Caí 2012-2020

Ano	Nº de eventos observados	Nº de Boletins Emitidos
2012	1	7
2013	3	25
2014	3	33
2015	5	81
2016	4	43
2017	4	49
2018	7	44
2019	3	43
2020	1	36

## 2.4 Características do SAH-Caí

O SAH-Caí é composto, atualmente, por oito estações de monitoramento hidrológico automáticas (tabela 03), distribuídas ao longo da calha principal do rio Caí e de seus principais afluentes, a figura 03 ilustra a distribuição geográfica dos pontos de monitoramento. As estações coletam, primariamente, dados pluviométricos e fluviométricos, com intervalo de 15 minutos, os dados são agrupados em blocos horários, com quatro intervalos cada, e transmitidos via satélite.

Tabela 3: Estações telemétricas integrantes do sistema de alertas hidrológico da bacia do rio Caí

CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	Coordenadas Geográfica	TIPO
87270000/ 02951080	PASSO MONTENEGRO	Montenegro - RS	29°42'3.97"S / 51°26'24.68"O	PFT
87170000/ 02951143	BARCA DO CAÍ	São Sebastião do Caí - RS	29°35'24.35"S / 51°23'0.80"O	PFDQT
87230000/ 02951081	COSTA DO RIO CADEIA	São Sebastião do Caí - RS	29°35'23.88"S / 51°18'49.15"O	PFDQT
87168000/ 02951027	SÃO VENDELINO	São Vendelino - RS	29°22'58.92"S / 51°22'7.46"O	PFDQT
87160000/ 02951022	NOVA PALMIRA	Caxias do Sul - RS	29°20'7.31"S / 51°11'20.50"O	PFDQT
87150000/ 02950050	LINHA GONZAGA	Caxias do Sul - RS	29°18'26.71"S / 50°59'46.32"O	PFDQT
02950045	CAPÃO DOS COXOS	São Francisco de Paula - RS	29°24'31.82"S / 50°35'3.75"O	PT
02951142	MORRO REUTER	Morro Reuter - RS	29°31'44.47"S / 51° 2'12.13"O	PT



O tipo de estação obedece à seguinte codificação:

P – Pluviométrica;

F – Fluviométrica;

D – Com medição de descarga líquida;

Q – Com determinação de parâmetros de qualidade da água;

T – Transmissora de dados.

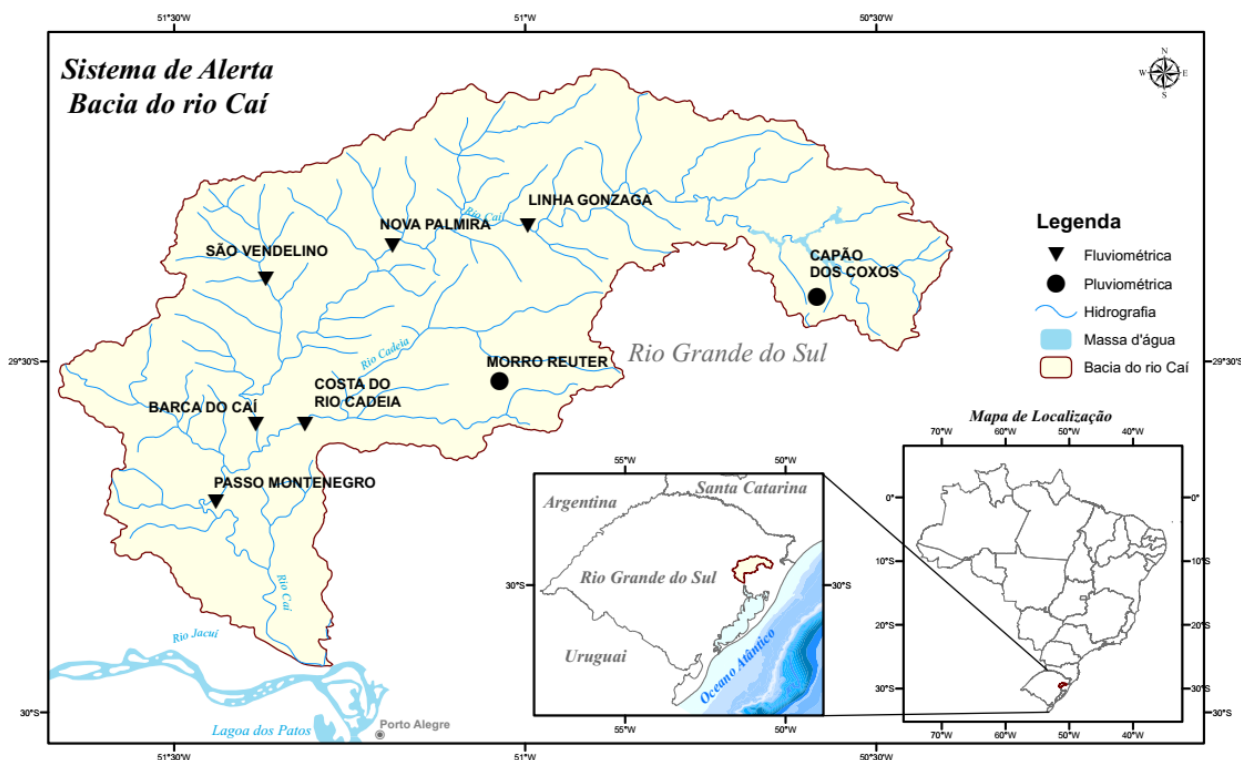


Figura 3: Espacialização das estações do SAH-Caí.  
Fonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2019).

O sistema é dotado de um modelo de previsão de níveis, baseado em aprendizado de máquina (Redes Neurais Artificiais), para os postos de monitoramento localizados nos municípios de São Sebastião do Caí - RS e Montenegro – RS, sendo capaz de entregar previsões com antecedência de 10h nas duas localidades. O modelo utiliza como entrada dados fluviométricos e pluviométricos, em tempo atual e passados, das estações a montante e das estações para as quais se está gerando as previsões.

A operação do sistema se dá ao longo de todo o ano, sendo realizada sete dias por semana de forma ininterrupta. O centro operacional está localizado na cidade de Porto Alegre – RS nas dependências da superintendência do Serviço Geológico do Brasil (SUREG-PA). Pode-se dividir a operação em três etapas distintas. A etapa de monitoramento contínuo, compreendida durante o regime fluvial abaixo da cota de atenção, caracterizada pela recepção, consistência dos dados hidrológicos, aprimoramentos dos modelos de previsão, análise do funcionamento e manutenção preventiva dos equipamentos. A etapa de preparação para um evento, compreendida

durante o regime fluvial entre a cota de atenção e alerta, caracterizada pelo acompanhamento dos modelos de previsão do tempo, preparação de equipes e equipamentos para trabalhos de campo e no escritório em regimes diferenciados. A etapa de alerta, compreendida durante o regime fluvial igual ou acima da cota de alerta, cancelada pelo início do envio dos boletins com previsões hidrológicas, essa etapa só é encerrada findado o cenário de risco hidrológico.

Tabela 3: Níveis referenciais das estações do SAH-Caí

Cota (cm)	Barca do Caí	Passo Montenegro	Nova Palmira	Cota do Rio Cadeia
Atenção	500	300	200	500
Alerta	700	400	300	700
Inundação	1000	600	470	1000

Os alertas de inundações são enviados no formato de boletins informativos para o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), defesa civil municipal e estadual, bem como são acessíveis a qualquer interessado através do site do Serviço Geológico do Brasil (<http://www.cprm.gov.br/sace>). Rotineiramente, em situações de alerta, são gerados e enviados boletins as 07h, 17h e 22h.

### 3 EVENTOS HIDROLOGICOS OBSERVADOS EM 2020

O ano de 2020 foi marcado pela ocorrência de um único evento hidrológico de grande magnitude na bacia do rio Caí, com precipitações que superaram os 300mm em algumas regiões, em menos de 13 dias, foi capaz de produzir a elevação do nível do rio Caí a patamares superiores as cotas de alerta em diversas estações de monitoramento o que desencadeou a emissão de boletins com previsões hidrológicas. As imagens 03 e 04 ilustram o cenário de inundação nas cidades de Montenegro e São Sebastião do Caí respectivamente.



Figura 3: Cidade de Montenegro-RS durante o evento de inundação.  
Fonte: Agência RBS (2020)



Figura 4: São Sebastião do Caí - RS durante o evento de inundação.  
Fonte: Prefeitura de São Sebastião do Caí (2020)

Compreendido entre 29/06/2020 e 15/07/2020, figurou entre os maiores eventos hidrológicos já observados na bacia. As intensas chuvas produziram elevações de níveis com máximas de 818 cm em Montenegro (13º maior já observada) e 1404 cm (6º maior já observada). O tempo de recorrência para ambas as cotas é de aproximadamente 7 e 11 anos respectivamente. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) o evento

se deu em decorrência de fortes precipitações nas porções lestes dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, ocasionadas por um ciclone extratropical, formado em decorrência do forte contraste de massas de ar quente e fria, associado à perturbação dos ventos e deslocamento de cavado atmosférico (área de baixa pressão) em médios e altos níveis. A denominação “ciclone bomba” ou ciclogênese explosiva se dá pelo fato da rápida queda da pressão atmosférica em seu centro (maior ou igual do que 24 Hectopascals – hPa - em 24h). A figura 05 ilustra a evolução da precipitação no início do evento.

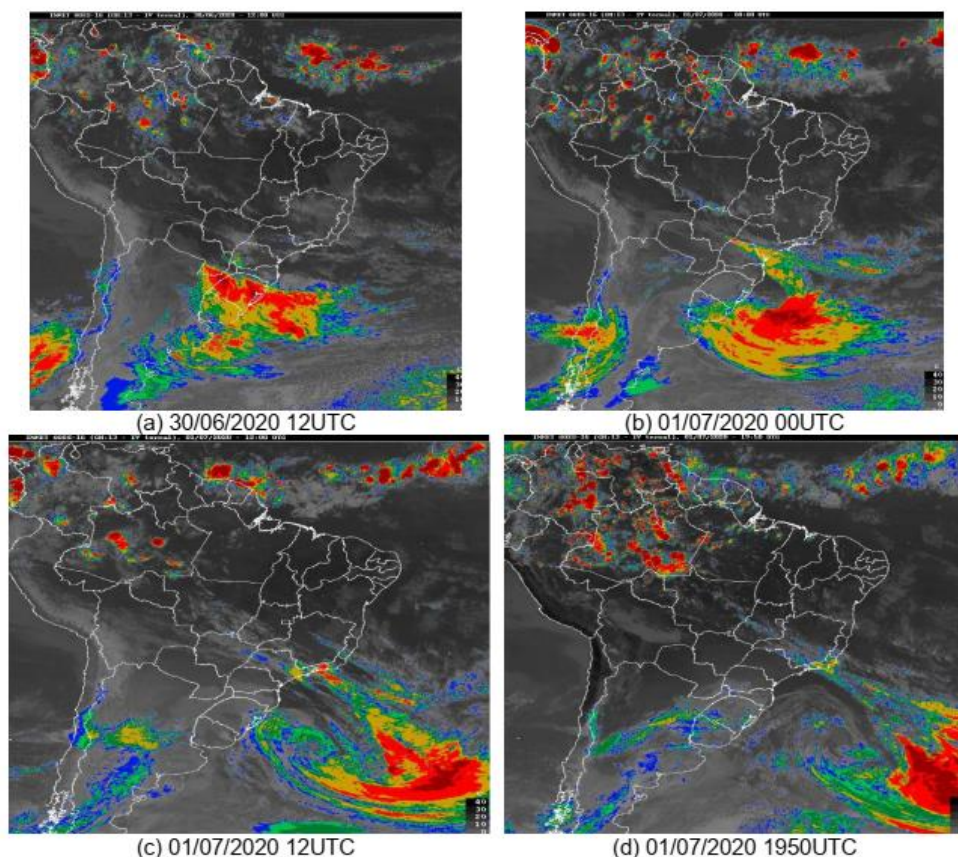


Figura 5: Imagens de satélite no canal infravermelho, áreas em tons escuros indicam poucas/sem nuvens, enquanto que tons laranja-avermelhados indicam pancadas de chuva.

Fonte: INMET (2020)

Os gráficos 01 e 02 apresentam a evolução dos níveis do rio Caí e de seus afluentes em diversos pontos de monitoramento, nota-se a presença de quatro picos de elevação, sendo três deles superiores as cotas de inundação nos postos 8717000 e 87270000. O tempo transcorrido entre o primeiro registro de precipitação, nos postos de monitoramento do SAH-Caí, até a extrapolação da cota de inundação foi de aproximadamente 31 horas em São Sebastião do Caí (1000 cm) e 46 horas em Montenegro (600 cm). O tempo transcorrido entre o primeiro pico observado na estação mais a montante, Nova Palmira (87160000), e o observado em São Sebastião do Caí foi de 14h, já em Montenegro o tempo foi de aproximadamente 32h. A tabela 04 apresenta um resumo dos níveis máximos observados durante o evento.

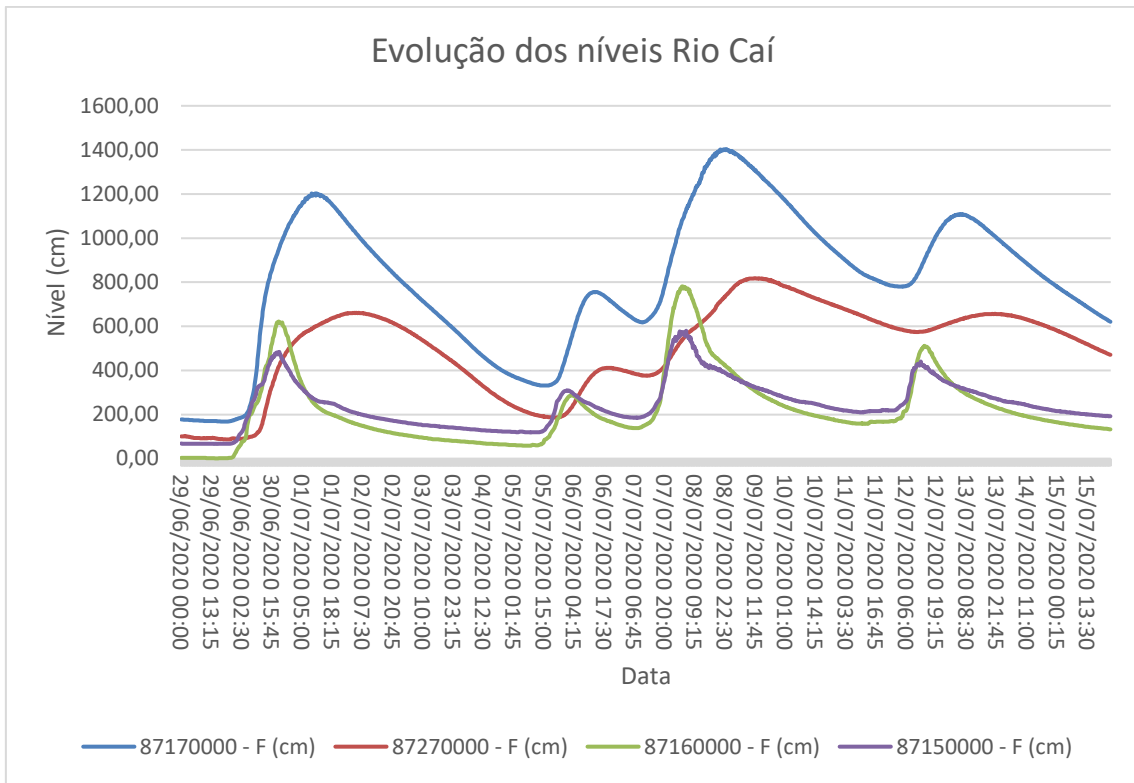


Gráfico 1: Cotograma estações fluviométricas localizadas no rio Cai

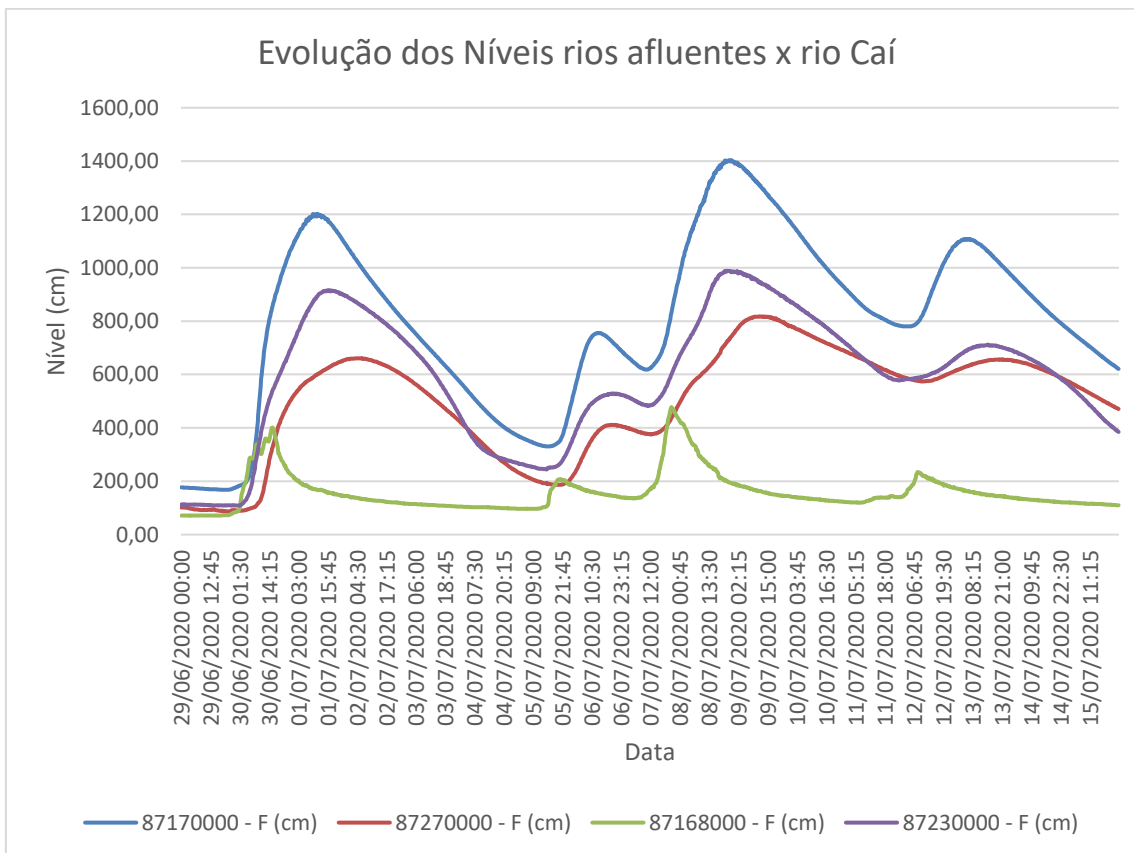


Gráfico 2: Cotograma estação afluentes ao rio Cai.

Tabela 4: Níveis máximos observados durante o evento de 2020.

Estação	Nível Máximo Observado (cm)	Data - Hora
87168000	478	07/07/2020 21:15
87160000	781	08/07/2020 03:45
87150000	580	08/07/2020 05:30
87230000	989	08/07/2020 21:30
87170000	1404	08/07/2020 23:15
87270000	878	09/07/2020 11:30

A precipitação registrada no período foi superior a 200 mm em todos os postos de monitoramento, atingido 375,6 mm no posto 02951142 (Morro Reuter). A máxima precipitação registrada em um período de 24 horas foi de 171,6, entre as 15:45 do dia 29/06/2020 e 15:30 do dia 30/06/2020, também na estação Morro Reuter. A tabela 05 traz uma síntese dos dados de precipitação observados durante o evento. Os gráficos 03 e 04 apresentam a evolução dos níveis do rio Caí nas estações Baca do Caí (8717000) e Passo Montenegro (8727000) comparativamente ao total de precipitação acumulada em diferentes postos de monitoramento na bacia.

Tabela 5: Dados de precipitação observados durante evento de 2020.

Estação	Precipitação Acumulada (mm) 17 dias (29/06-15/07/2020)	Máxima Precipitação Acumulada em 24h (mm)
2951143	257	97,6 (07-08/07/2020 01:15)
2951080	245	96,4 (07-08/07/2020 01:30)
2951022	334,2	131,4 (29-30/06/2020 15:15)
2950050	362,8	128,6 (29-30/06/2020 15:45)
2951027	361	138,2 (29-30/06/2020 15:30)
2951081	253,8	96,60 (29-30/06/2020 15:45)
2951142	375,6	171,6 (29-30/06/2020 15:30)

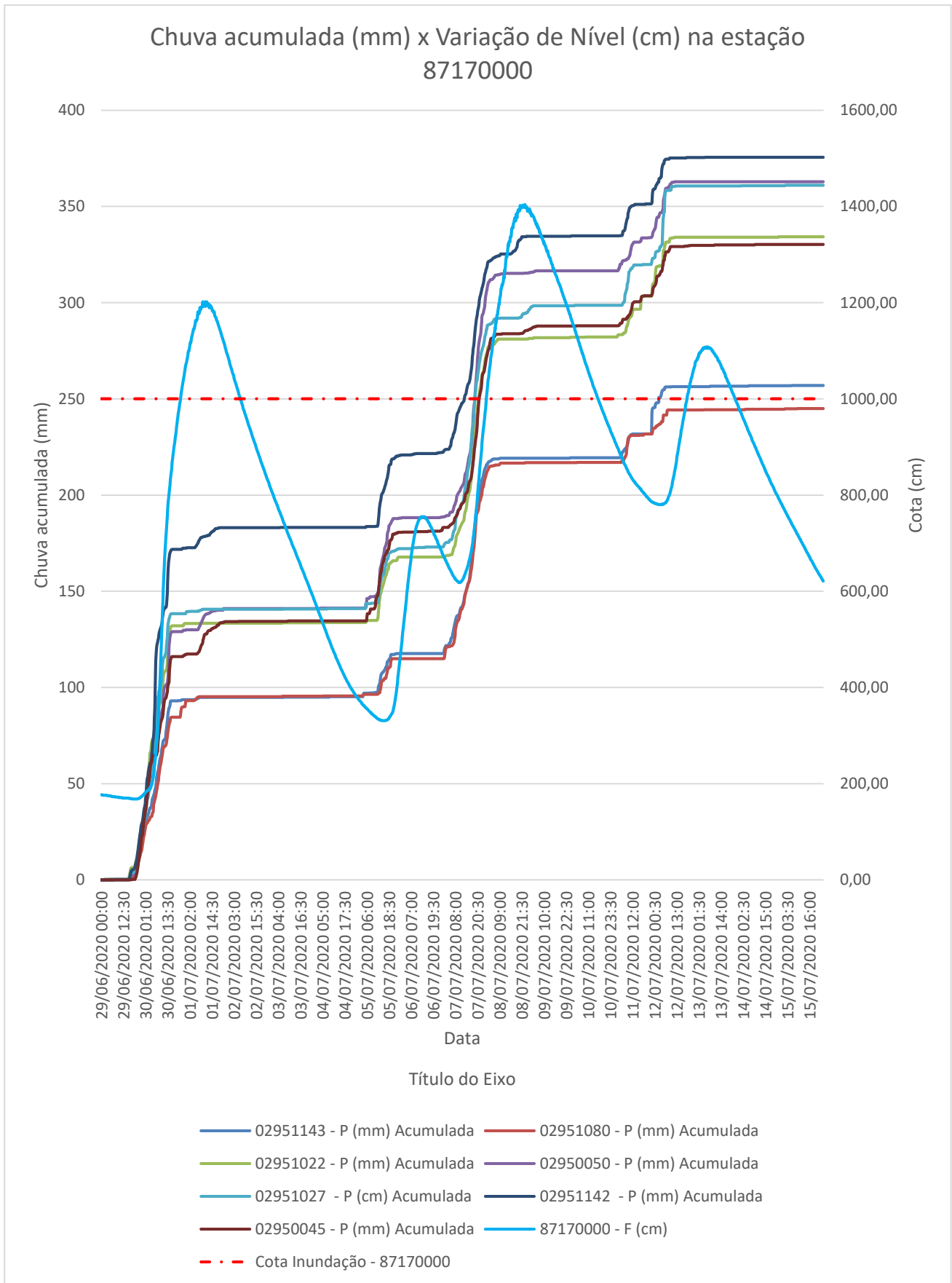


Gráfico 3: Cotagrama estação Barca do Cai e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí.

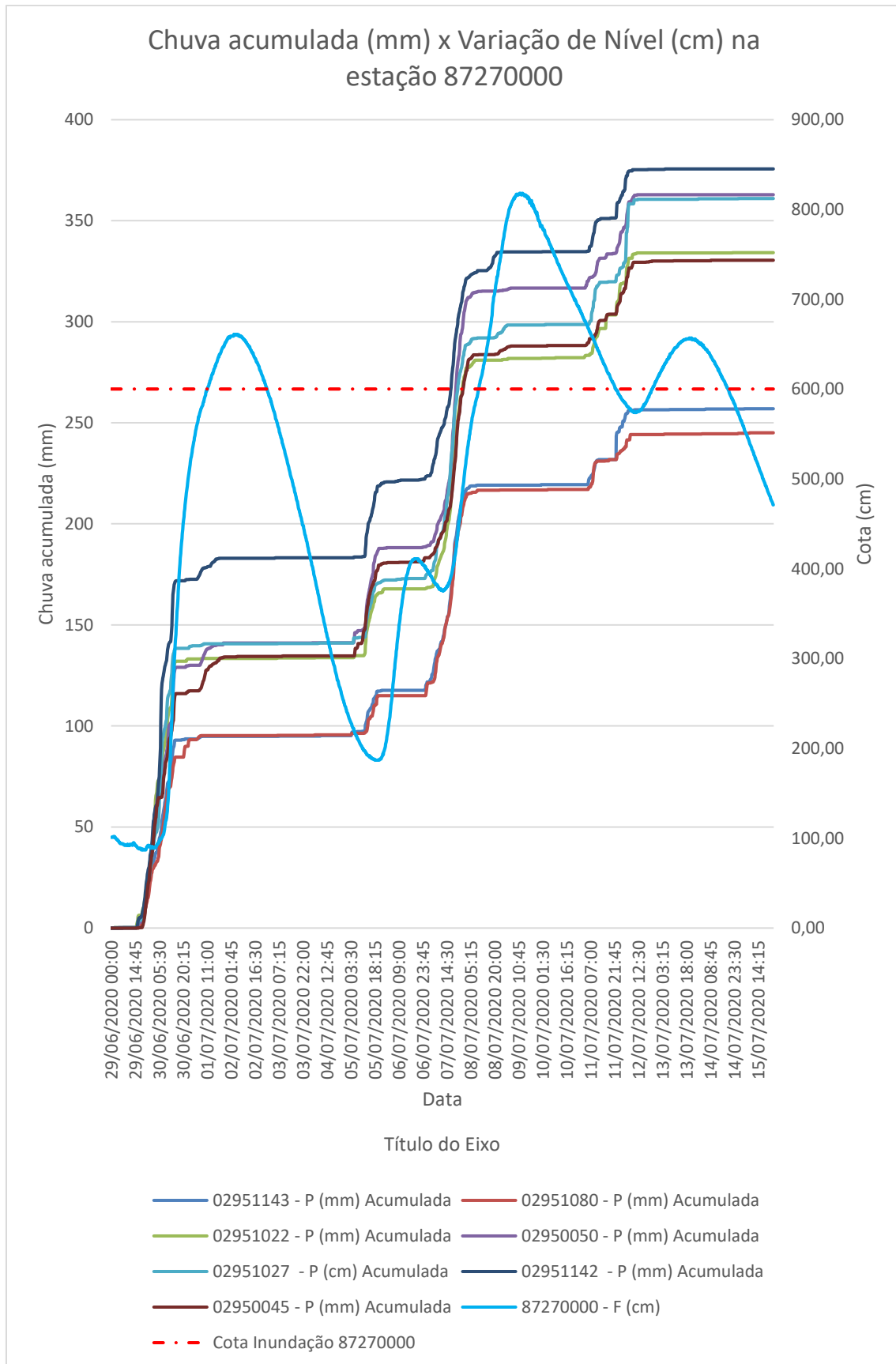


Gráfico 4: Cotagrama estação Passo Montenegro e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí.



#### 4 CONSOLIDAÇÃO DE RESULTADOS OPERACIONAIS

Durante o ano de 2020 o Sistema de Alertas Hidrológicos da Bacia do Rio Caí Caí (SAH-Caí) produziu e disponibilizou 36 boletins de alertas com previsões para os municípios de São Sebastião do Caí e Montenegro, beneficiando diretamente uma população de aproximadamente 90.000 pessoas. O primeiro boletim foi enviado a defesa civil e demais órgãos competentes no início da tarde do dia 30/06/2020 com previsões para as 10 horas futuras, sendo o último disponibilizado na noite dia 14/07/2020 diante da diminuição dos níveis do rio a patamares inferiores as cotas de alerta. O gráfico 05 faz um comparativo entre os valores previstos e observados para as estações Barca do Caí e Passo Montenegro, o erro médio observado nas previsões foi de aproximadamente 27 cm e 17 cm respectivamente.

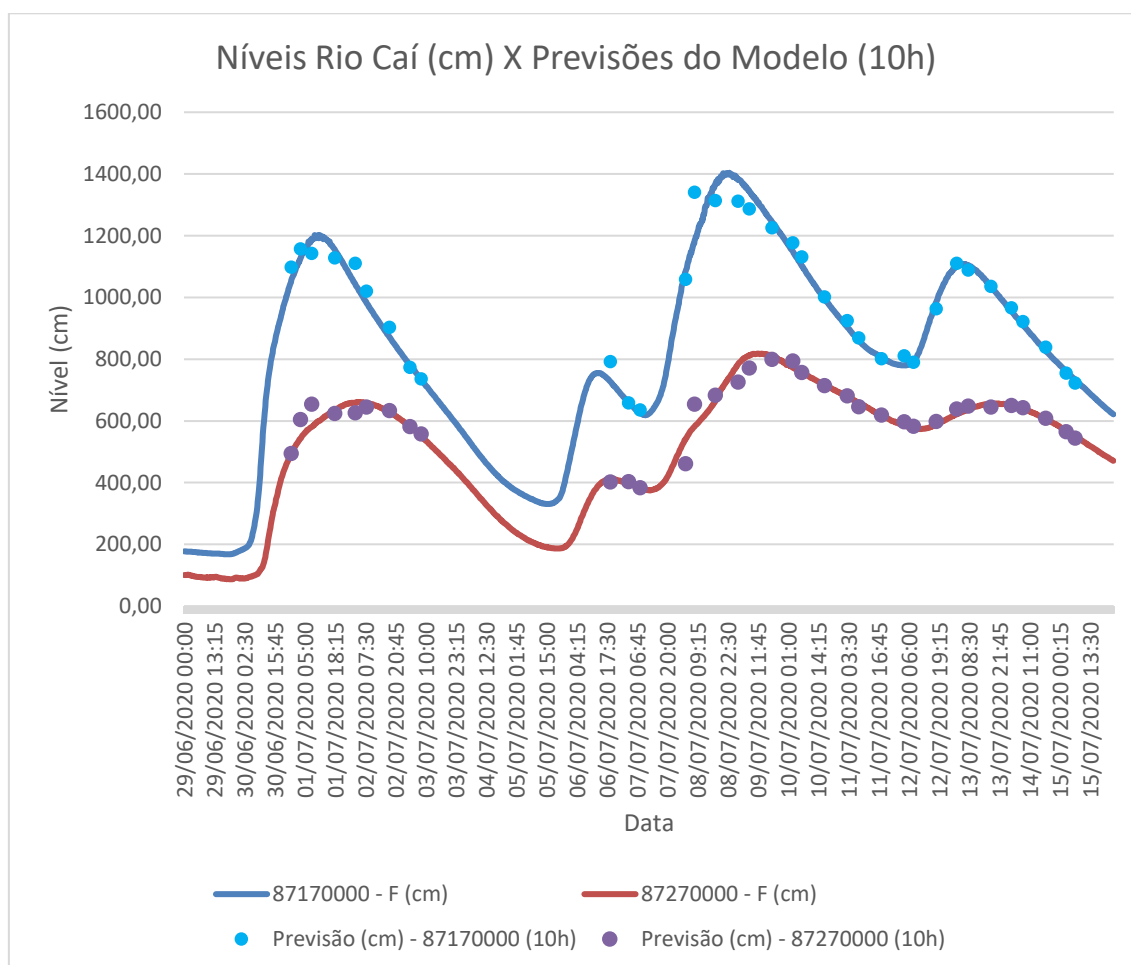


Gráfico 5: Cotograma das estações 8717000 e 8727000, com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido entre o mês 06 e 07 do ano de 2020.

Estudo elaborado por Silva (2020) estimou o impacto econômico decorrente da adoção de medidas para remoção de pessoas e bens a partir dos alertas emitidos durante a operação do SAH-Caí, chegando a um valor de dano potencialmente evitado de aproximadamente 83 milhões de reais para o ano de 2020. Os valores foram obtidos a partir de estimativas de danos para as áreas potencialmente inundadas, tendo como base mapas de inundação elaborados por BRASIL (2016).

## 5 REFERÊNCIAS

BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Elaboração de manchas de inundação para as cidades de São Sebastião do Caí e Montenegro. Porto Alegre: CPRM, 2016. 23 p.

DUARTE-SILVA, E.; BUFFON, F. T. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO CAÍ ENTRE OS ANOS DE 2009 E 2020. In: II Encontro Nacional de Desastres Naturais. Rio de Janeiro, ABRH, 2020.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 561p

Revista do Plano Caí: Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, Porto Alegre, n.2, set., 2007.

PEDROLLO, O. C., PEDROLLO, M. C. R. Sistema de alerta de cheias da bacia do rio Caí: previsão de níveis com redes neurais artificiais In: Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: Inundações e Movimentos de Massa. 1 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2013, v.1, p. 102-120.

SCHRÖDER, Janice Roberta. Memórias das cheias em São Sebastião do Caí. Revista Latino-Americana de História, São Leopoldo, v. 2, n. 7, p. 403-420, set. 2013.