

RELATÓRIO DE ATIVIDADES

DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA



SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO CAÍ

Relatório Técnico de Operação no período de novembro
de 2020 a novembro de 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
CAÍ**

**Relatório Técnico de Operação no período de novembro
de 2020 a novembro de 2021**

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Emanuel Duarte Silva
Artur José Soares Matos



**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM**

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

PROJETO SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO CAÍ – SAH-CAÍ
(Relatório de Atividades N° 1 – Ano 2021)

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Emanuel Duarte Silva

FOTOS DA CAPA: Execução das atividades de campo do projeto SAH-Caí, atualização de níveis de referência, medição de cheias, manutenção de PCD's. Fotos do acervo do autor (Outubro/2020, Março/2018, Julho/2015).

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

| | |
|------|--|
| S586 | Silva, Emanuel Duarte Relatório de Atividades, Departamento de Hidrologia: Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Caí; relatório de operação no período de novembro de 2020 a novembro de 2021/ Emanuel Duarte Silva ; Artur José Soares Matos – Porto Alegre : CPRM, 2021. 1 recurso eletrônico : PDF ; il. () <i>ISBN 978-65-5664-174-4</i> 1.Desastres naturais. 2.Chuvas intensas. 3. Inundações. I. Matos, Artur José Soares. IV. Título. <i>CDD 551.48</i> |
|------|--|

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

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 2021, 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).

RESUMO

Sistemas de Alerta Hidrológico (SAH) são medidas não estruturais adotadas para minimização dos prejuízos decorrentes de inundações. Desde 1989 o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) implanta e opera SAH's em todo território nacional. Na última década tem investido massivamente na expansão e melhoramentos dos sistemas, por meio da adoção de novos modelos de previsão hidrológica, otimização de processos internos e na comunicação com os usuários finais. Ao longo do ano de 2021 o Sistema de Alertas Hidrológicos da Bacia do Rio Caí (SAH-Caí) foi responsável pela emissão de 23 boletins de alerta hidrológico, contendo previsões de níveis para as cidades de São Sebastião do Caí-RS e Montenegro-RS, durante o monitoramento de quatro eventos hidrológicos onde os níveis de alerta foram superados. Além das atividades de monitoramento e alerta foram ministrados treinamentos e realizadas reuniões de alinhamento com as defesas civis locais. No âmbito das atividades de campo foi realizada campanha para atualização dos níveis de referência para inundação, atualmente, utilizados nos municípios supracitados. Adicionalmente foram realizadas vistorias para identificação de locais com potencial para instalação de novas estações de monitoramento o que possibilitará a integração, no futuro, dos municípios de Feliz, Bom Princípio e Vale Real ao sistema.

ABSTRACT

Hydrological Alert Systems (HAS) are non-structural measures adopted to minimize damage from flooding. Since 1989, the Geological Survey of Brazil (SGB/CPRM) implements and operates HAS's throughout the national territory. In the last decade, it has invested massively in the expansion and improvement of systems, through the adoption of new hydrological forecasting models, optimization of internal processes and communication with end users. Throughout 2021, the Caí River Basin Hydrological Alert System (HAS-Caí) was responsible for issuing 23 hydrological alert bulletins, containing level forecasts for the cities of São Sebastião do Caí-RS and Montenegro-RS, during the monitoring of four hydrological events where alert levels were exceeded. In addition to monitoring and alerting activities, training and alignment meetings were held with local civil defenses. As part of field activities, a campaign was carried out to update the reference levels for flooding currently used in the aforementioned municipalities. Additionally, inspections were carried out to identify locations with potential for installing new monitoring stations, which will enable the integration of the municipalities of Feliz, Bom Princípio and Vale Real into the system in the future.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 Características da Bacia | 13 |
| 1.2 Histórico de Cheias | 16 |
| 2. HISTORICO DE OPERAÇÃO DO SAH | 16 |
| 3. ÁREA DE ABRANGENCIA | 17 |
| 4. EVENTOS HIDROLOGICOS OBSERVADOS EM 2021..... | 19 |
| 4.1 Evento 1 | 20 |
| 4.2 Evento 2 | 25 |
| 4.3 Evento 3 | 30 |
| 4.4 Evento 4 | 35 |
| 5. OPERAÇÃO REALIZADA DURANTE OS EVENTOS | 40 |
| 6. PARTICIPAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DE REUNIÕES E EVENTOS | 44 |
| 7. PUBLICAÇÕES E ARTIGOS | 46 |
| 8. CONCLUSÕES | 47 |
| 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 48 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Bacia do Rio Caí localização espacial. | 14 |
| Figura 2: Hidrografia Bacia do Rio Caí | 15 |
| Figura 3: Espacialização das estações do SAH-Caí. Fonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2019). | 18 |
| Figura 4: Turma da 1º edição do curso básico on-line de capacitação em percepção e mapeamento de risco geológico | 45 |
| Figura 5: Atualização de níveis de inundação em conjunto com a defesa civil e bombeiros no município de Bom Princípio. | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Níveis máximos observados nas estações 8717000 e 87270000..... | 16 |
| Tabela 2: Produção SAH-Caí 2012-2021..... | 17 |
| Tabela 3: Estações telemétricas integrantes do sistema de alertas hidrológico da bacia do rio Caí | 17 |
| Tabela 4: Níveis referenciais das estações do SAH-Caí | 19 |
| Tabela 5: Níveis máximos observados durante o evento 1 de 2021. | 21 |
| Tabela 6: Dados de precipitação observados durante o evento 1 de 2021. | 21 |
| Tabela 7: Níveis máximos observados durante o evento 2 de 2021. | 26 |
| Tabela 8: Dados de precipitação observados durante o evento 2 de 2021. | 27 |
| Tabela 9: : Níveis máximos observados durante o evento 3 de 2021. | 31 |
| Tabela 10: Dados de precipitação observados durante o evento 3 de 2021 | 32 |
| Tabela 11: Níveis máximos observados durante o evento 4 de 2021. | 36 |
| Tabela 12: Dados de precipitação observados durante o evento 4 de 2021. | 36 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1: Cotagrama estações fluviométricas localizadas no rio Caí durante o evento 1..... | 20 |
| Gráfico 2: Cotagrama estação afluentes ao rio Caí durante o evento 1..... | 21 |
| Gráfico 3: Cotagrama estação Barca do Caí e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 1. | 23 |
| Gráfico 4: Cotagrama estação Passo Montenegro e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 1..... | 24 |
| Gráfico 5: Cotagrama estações fluviométricas localizadas no rio Caí durante o evento 2..... | 25 |
| Gráfico 6: Cotagrama estação afluentes ao rio Caí durante o evento 2..... | 26 |
| Gráfico 7: Cotagrama estação Barca do Caí e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 2. | 28 |
| Gráfico 8: Cotagrama estação Passo Montenegro e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 2..... | 29 |
| Gráfico 9: Cotagrama estações fluviométricas localizadas no rio Caí durante o evento 3..... | 30 |
| Gráfico 10: Cotagrama estação afluentes ao rio Caí durante o evento 3..... | 31 |
| Gráfico 11: Cotagrama estação Barca do Caí e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 3. | 33 |
| Gráfico 12: Cotagrama estação Passo Montenegro e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 3..... | 34 |
| Gráfico 13: Cotagrama estações fluviométricas localizadas no rio Caí durante o evento 4..... | 35 |
| Gráfico 14: Cotagrama estação afluentes ao rio Caí durante o evento 4..... | 36 |
| Gráfico 15: Cotagrama estação Barca do Caí e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 4. | 38 |

| | |
|--|----|
| Gráfico 16: Cotagrama estação Passo Montenegro e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 4. | 39 |
| Gráfico 17: Cotagrama das estações 8717000 e 8727000, com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido entre o mês de maio de 2021. | 40 |
| Gráfico 18: Cotagrama das estações 8717000 e 8727000, com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido entre o mês de junho de 2021. | 41 |
| Gráfico 19: Cotagrama das estações 8717000 e 8727000, com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido entre o mês de agosto de 2021. | 42 |
| Gráfico 20: Cotagrama das estações 8717000 e 8727000, com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido entre o mês de setembro de 2021. | 43 |

1. 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 alerta hidrológico 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.

1.1 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 km², 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).

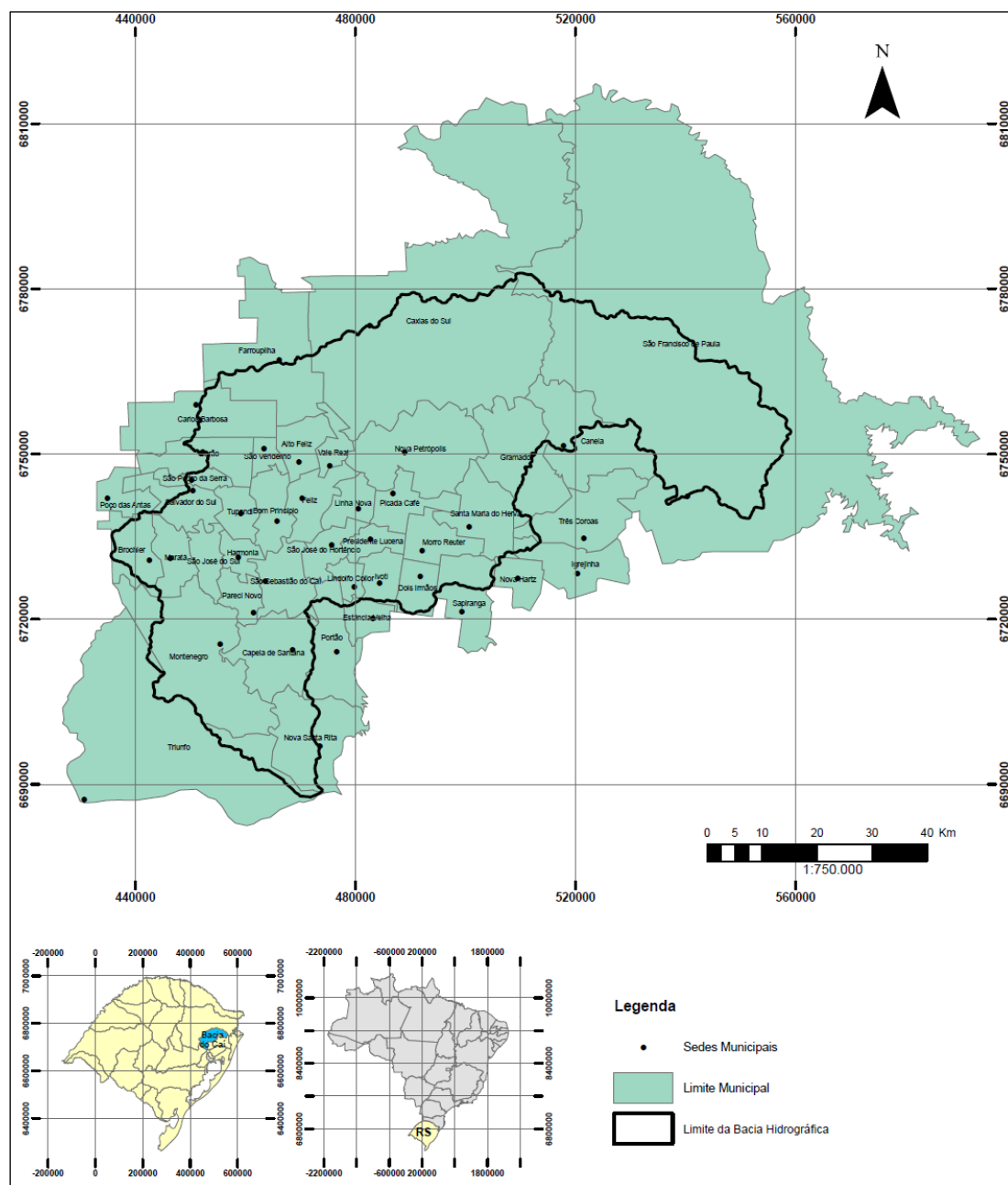


Figura 1: Bacia do Rio Caí localização espacial.
Fonte: Adaptado de Plano de Bacia do Rio Caí (2007)

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 do 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).

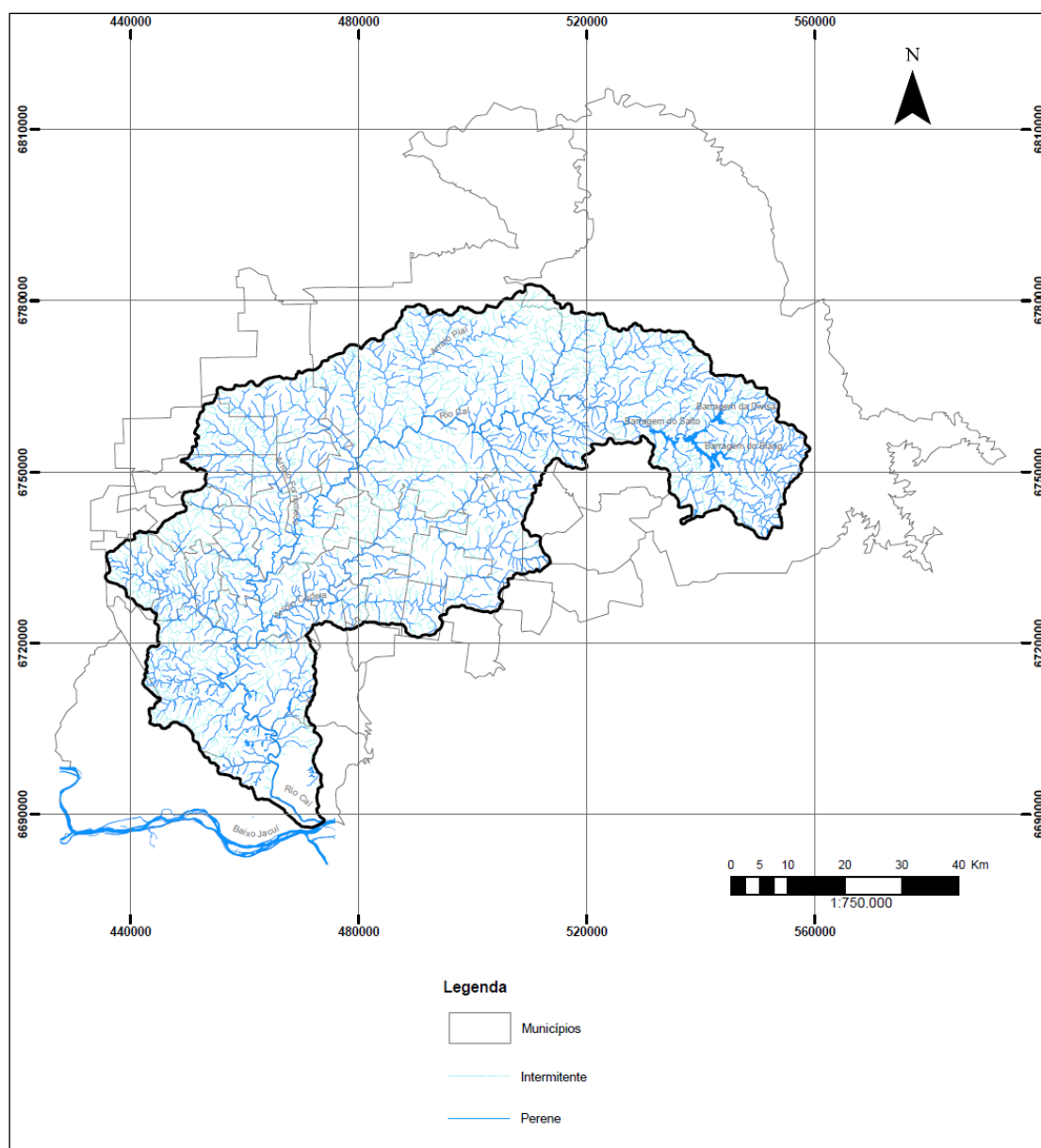


Figura 2: Hidrografia Bacia do Rio Caí

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 75 anos de dados, de 1947 a 2021, apenas

em 12 anos o rio Caí não atingiu a cota de início de inundação (1000 cm). Em Montenegro, num período de 82 anos, 1940 a 2021, a cota de início de inundação, 600cm, também só não foi ultrapassada em 12 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). O ano de 2021 foi marcado por uma severa estiagem que se estendeu por todo o território do Rio Grande do Sul.

1.2 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 |

Elaborado pelo autor (2021)

2. HISTORICO DE OPERAÇÃO DO SAH

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 hidrológico, 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 2021.

Tabela 2: Produção SAH-Caí 2012-2021

| 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 |
| 2021 | 4 | 23 |

3. ÁREA DE ABRANGENCIA

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 ESTAÇÃO | DA | 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 |

| CÓDIGO | NOME ESTAÇÃO | DA | MUNICÍPIO | Coordenadas Geográfica | TIPO |
|-----------------------|-----------------|----|-----------------------------|----------------------------------|-------|
| 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.

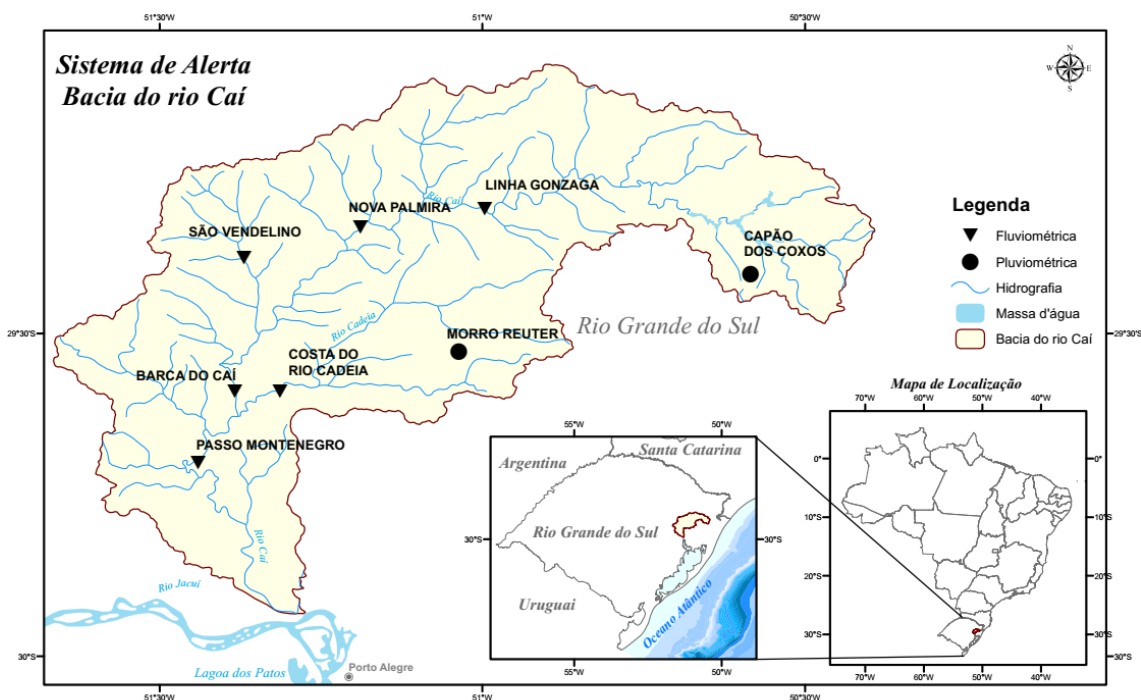


Figura 3: Espacialização das estações do SAH-Caí. Fonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2019).

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, caracterizada pelo início do envio dos boletins com previsões hidrológicas, essa etapa só é encerrada findado o cenário de risco hidrológico.

Tabela 4: 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.

4. EVENTOS HIDROLOGICOS OBSERVADOS EM 2021

O ano de 2021 foi marcado por precipitações abaixo das medias históricas desencadeado uma forte estiagem em todo o estado do Rio Grande do Sul. No âmbito da operação do SAH-Caí foram observados a ocorrência de quatro eventos hidrológicos de pequena magnitude, havendo 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 de alerta hidrológico

com previsões hidrológicas, no entanto os patamares de inundação não foram atingidos.

4.1 Evento 1

O evento 1 ocorreu entre 28/05/2021 e 30/05/2021, com precipitações que variaram de 60 mm (02951080) à 79 mm (02951142). Foram observadas elevações dos níveis no rio Caí com máximas de 468 cm em Montenegro e 880 cm em São Sebastião do Caí. O tempo de recorrência para ambas as cotas é de aproximadamente 1 ano.

Os gráficos 01 e 02 apresentam a evolução dos níveis do rio Caí e de seus afluentes em diversos pontos de monitoramento. O tempo transcorrido entre o pico observado na estação Nova Palmira (87160000) e o observado em São Sebastião do Caí foi de 9:30h, em Montenegro o tempo foi de aproximadamente 15:30h. A tabela 06 apresenta um resumo dos níveis máximos observados durante o evento.

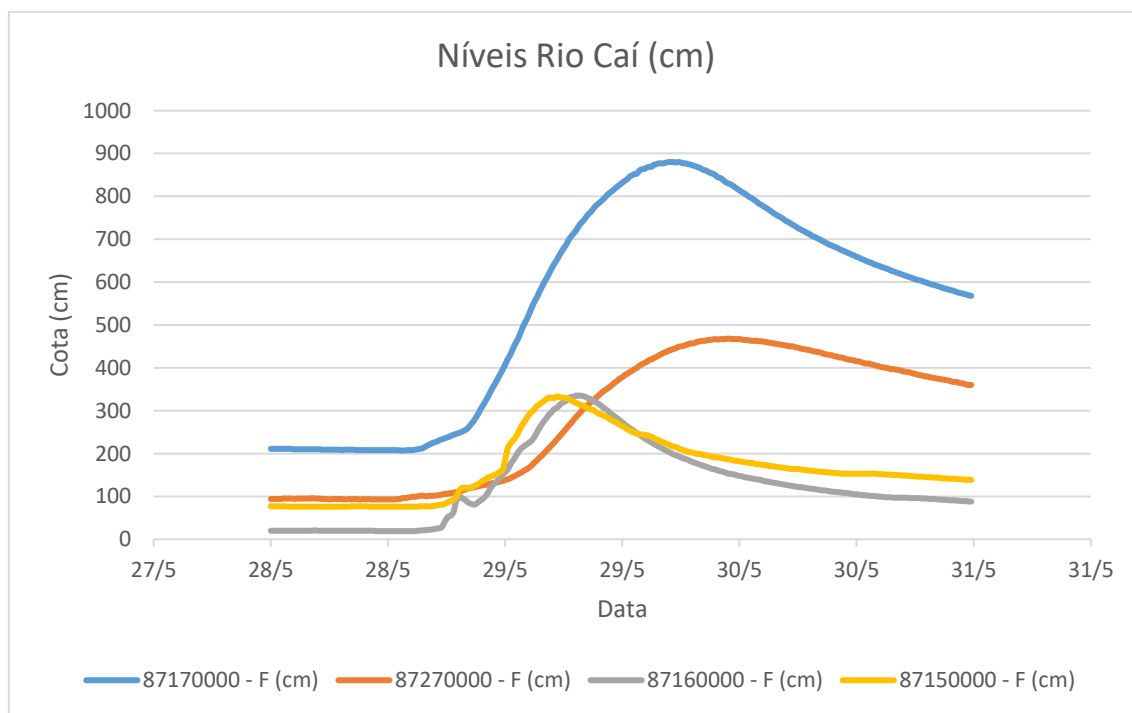


Gráfico 1: Cotagrama estações fluviométricas localizadas no rio Caí durante o evento 1.

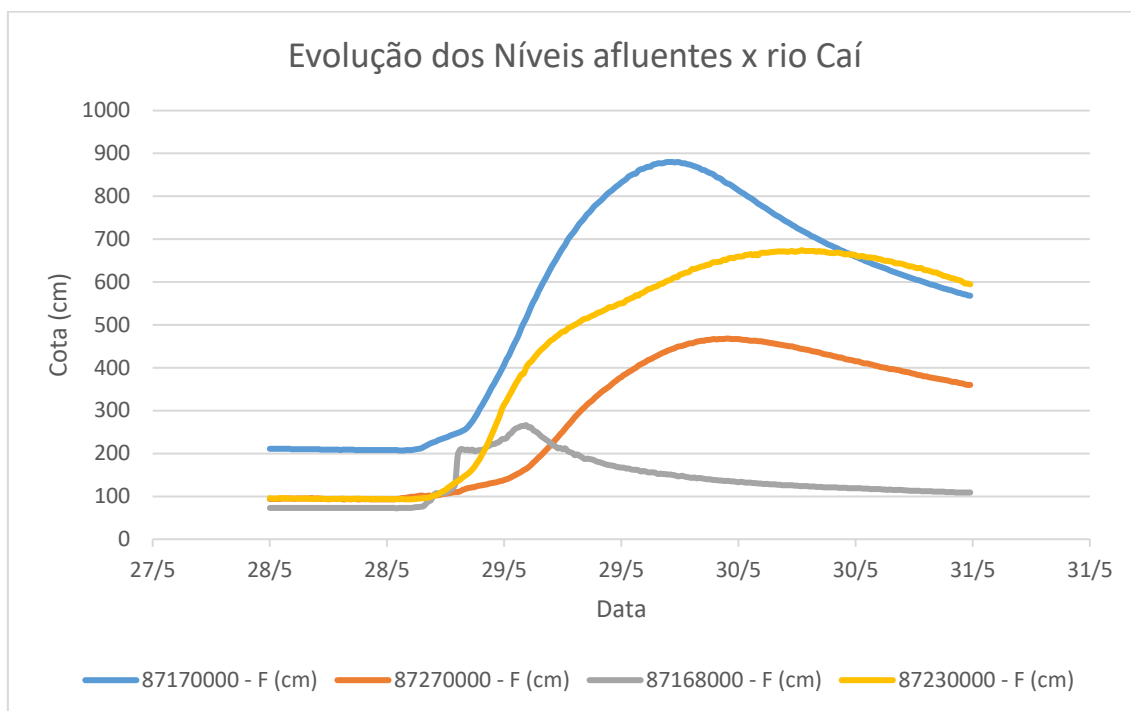


Gráfico 2: Cotograma estação afluentes ao rio Caí durante o evento 1.

Tabela 5: Níveis máximos observados durante o evento 1 de 2021.

| Estação | Nível Máximo Observado (cm) | Data - Hora |
|----------|-----------------------------|---------------|
| 87168000 | 266 | 29/5/21 2:15 |
| 87160000 | 335 | 29/5/21 7:15 |
| 87150000 | 333 | 29/5/21 5:15 |
| 87230000 | 674 | 30/5/21 6:30 |
| 87170000 | 880 | 29/5/21 16:45 |
| 87270000 | 468 | 29/5/21 22:45 |

Elaborado pelo Autor (2021)

A precipitação registrada no período foi superior a 60 mm em todos os postos de monitoramento, atingido 78,9 mm no posto 02951142 (Morro Reuter). A máxima precipitação registrada em um período de 24 horas foi de 78,9, entre as 00:45 do dia 28/05/2021 e 00:45 do dia 29/05/2021, 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 6: Dados de precipitação observados durante o evento 1 de 2021.

| Estação | Precipitação Acumulada (mm) 3 dias (28/05-30/05/2021) | Máxima Precipitação Acumulada em 24h (mm) |
|---------|---|---|
| 2951143 | 66,8 | 66,6 (28-29/05/2021 00:00) |
| 2951080 | 60,6 | 60,4 (28-29/05/2021 23:45) |

| | | |
|---------|------|-----------------------------|
| 2951022 | 77 | 77 (28-29/05/2021 02:00) |
| 2950050 | 72,8 | 72,4 (28-29/05/2021 01:30) |
| 2951027 | 72,8 | 72,4 (28-29/05/2021 01:15) |
| 2951081 | 69,2 | 68,80 (28-29/05/2021 00:45) |
| 2951142 | 78,9 | 78,9 (28-29/05/2021 00:45) |
| 2950045 | 71,8 | 71,8 (28-29/05/2021 10:45) |

Elaborado pelo Autor (2021)

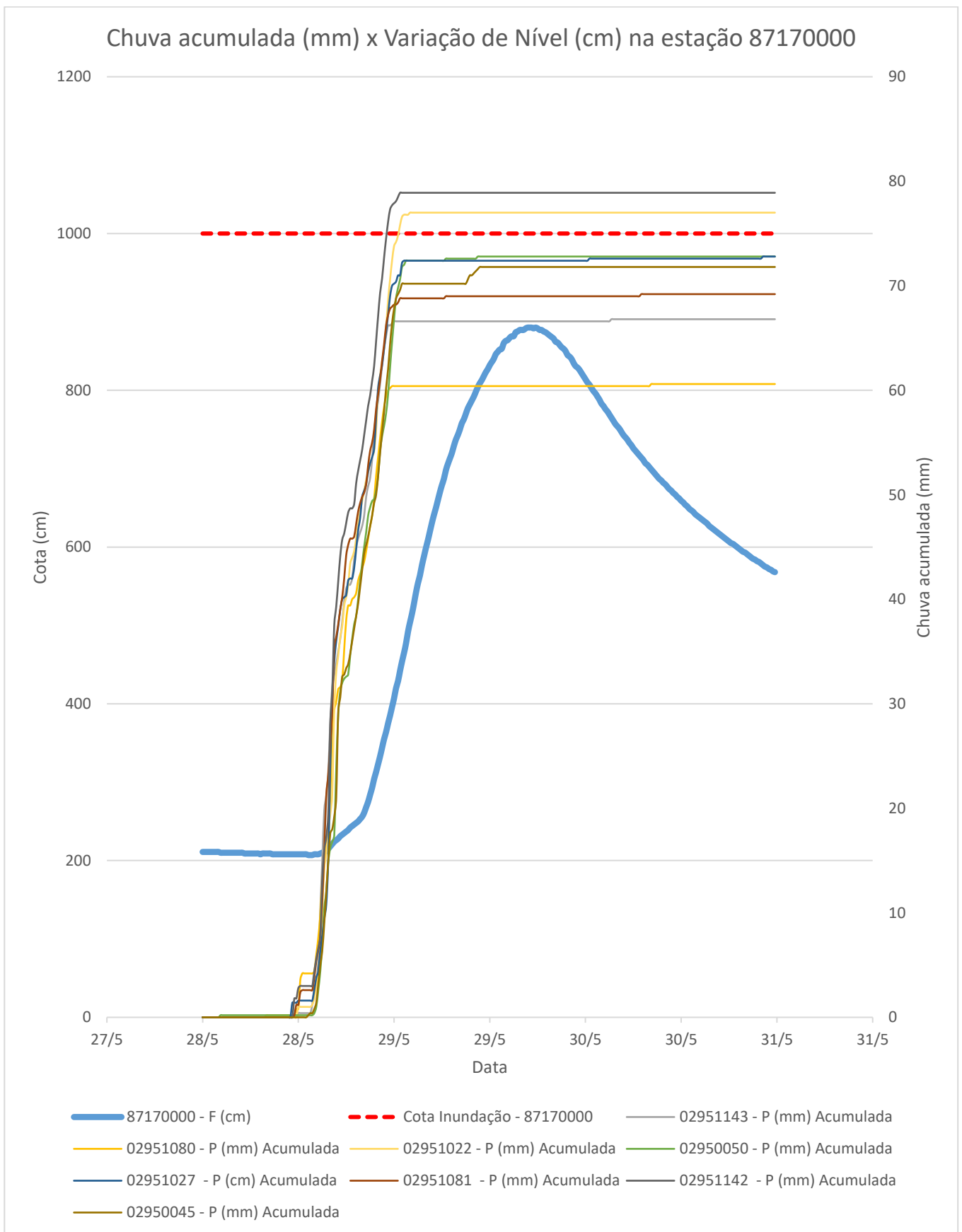


Gráfico 3: Cotagrama estação Barca do Caí e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 1.

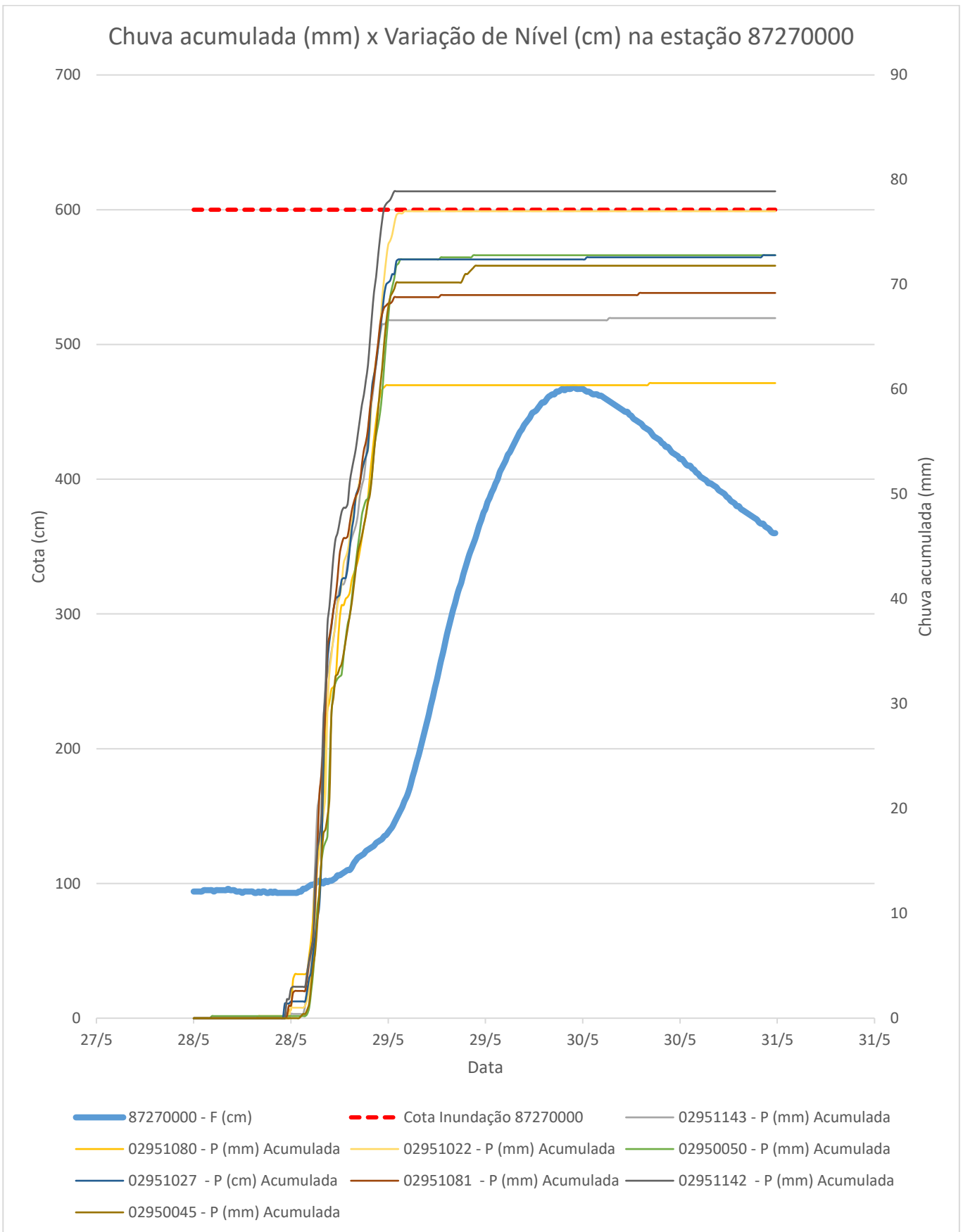


Gráfico 4: Cotagrama estação Passo Montenegro e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 1.

4.2 Evento 2

O evento 2 ocorreu entre 26/06/2021 e 30/06/2021, com precipitações que variaram de 82,8 mm (02951143) à 133 mm (02951081). Foram observados elevações dos níveis no rio Caí com máximas de 578 cm em Montenegro e 998 cm em São Sebastião do Caí. O tempo de recorrência para ambas as cotas é de aproximadamente 1,02 e 1,25 anos respectivamente.

Os gráficos 03 e 04 apresentam a evolução dos níveis do rio Caí e de seus afluentes em diversos pontos de monitoramento. O tempo transcorrido entre o pico observado na estação Nova Palmira (87160000) e o observado em São Sebastião do Caí foi de 10:30h, em Montenegro o tempo foi de aproximadamente 18:45h. A tabela 08 apresenta um resumo dos níveis máximos observados durante o evento.

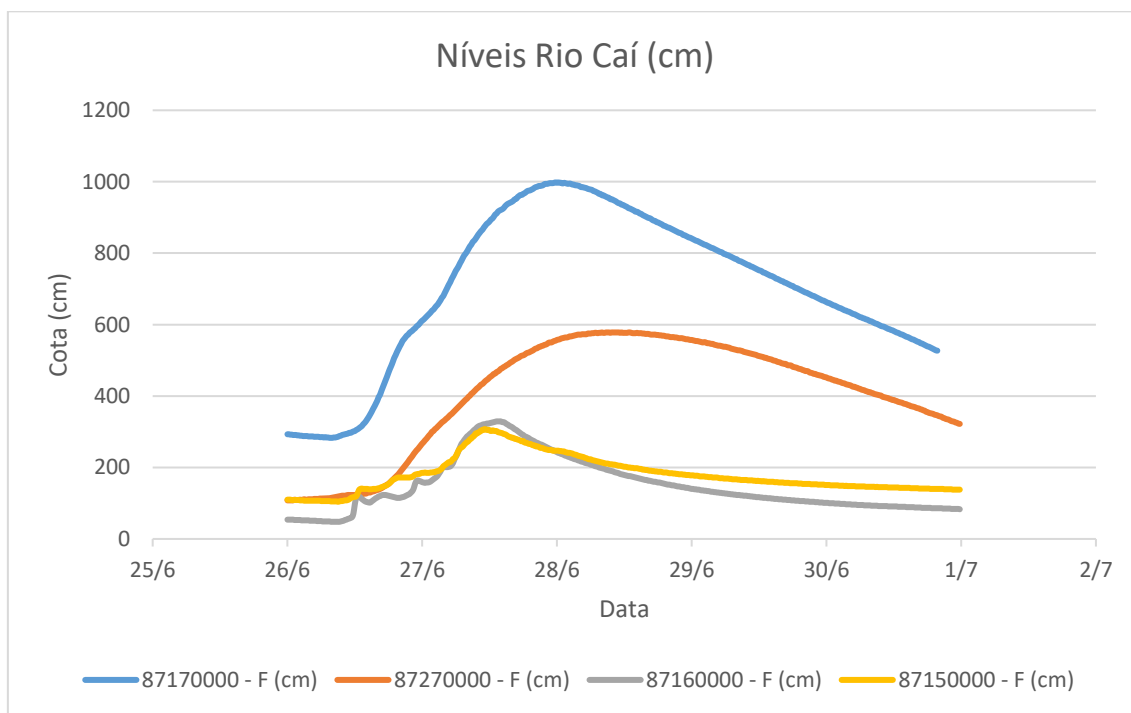


Gráfico 5: Cotagrama estações fluviométricas localizadas no rio Caí durante o evento 2.

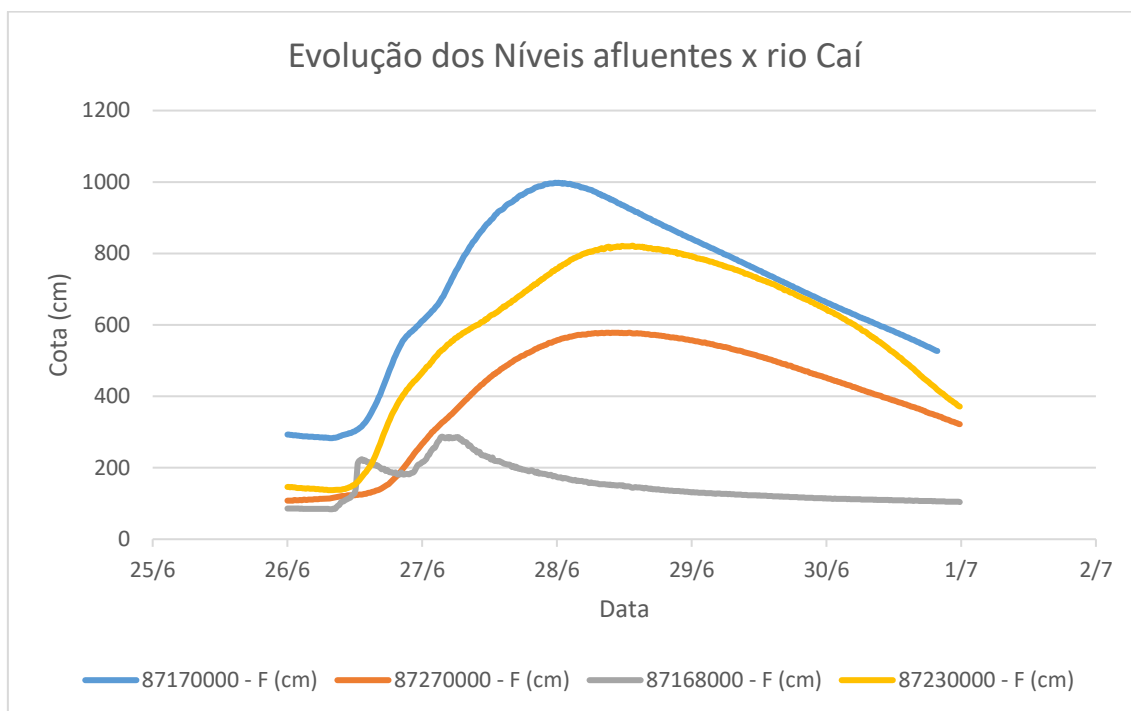


Gráfico 6: Cotograma estação afluentes ao rio Caí durante o evento 2.

Tabela 7: Níveis máximos observados durante o evento 2 de 2021.

| Estação | Nível Máximo Observado (cm) | Data - Hora |
|----------|-----------------------------|---------------|
| 87168000 | 287 | 27/6/21 3:30 |
| 87160000 | 329 | 27/6/21 13:15 |
| 87150000 | 307 | 27/6/21 11:00 |
| 87230000 | 822 | 28/6/21 13:30 |
| 87170000 | 998 | 27/6/21 23:45 |
| 87270000 | 578 | 28/6/21 8:00 |

Elaborado pelo Autor (2021)

A precipitação registrada no período foi superior a 80 mm em todos os postos de monitoramento, atingido 133 mm no posto 02951081 (Costa do Rio Cadeia). A máxima precipitação registrada em um período de 24 horas foi de 132 mm, entre as 06:45 do dia 26/06/2021 e 06:45 do dia 27/06/2021, também na estação Costa do Rio Cadeia. A tabela 08 traz uma síntese dos dados de precipitação observados durante o evento. Os gráficos 07 e 08 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. Devido ao mau funcionamento do pluviômetro da estação 0290050, durante o evento, seus dados foram suprimidos.

Tabela 8: Dados de precipitação observados durante o evento 2 de 2021.

| Estação | Precipitação Acumulada (mm) 4 dias (26/06-29/06/2021) | Máxima Precipitação Acumulada em 24h (mm) |
|---------|--|--|
| 2951143 | 82,8 | 82,6 (26-27/06/2021 06:15) |
| 2951080 | 102 | 101,8 (26-27/06/2021 03:15) |
| 2951022 | 91,6 | 82 (26-27/06/2021 08:30) |
| 2950050 | - | - |
| 2951027 | 88 | 85,4 (26-27/06/2021 07:15) |
| 2951081 | 133 | 132 (26-27/06/2021 06:45) |
| 2951142 | 83 | 75,6 (26-27/06/2021 08:00) |
| 2950045 | 63,8 | 49,4 (26-27/05/2021 08:45) |

Elaborado pelo Autor (2021)

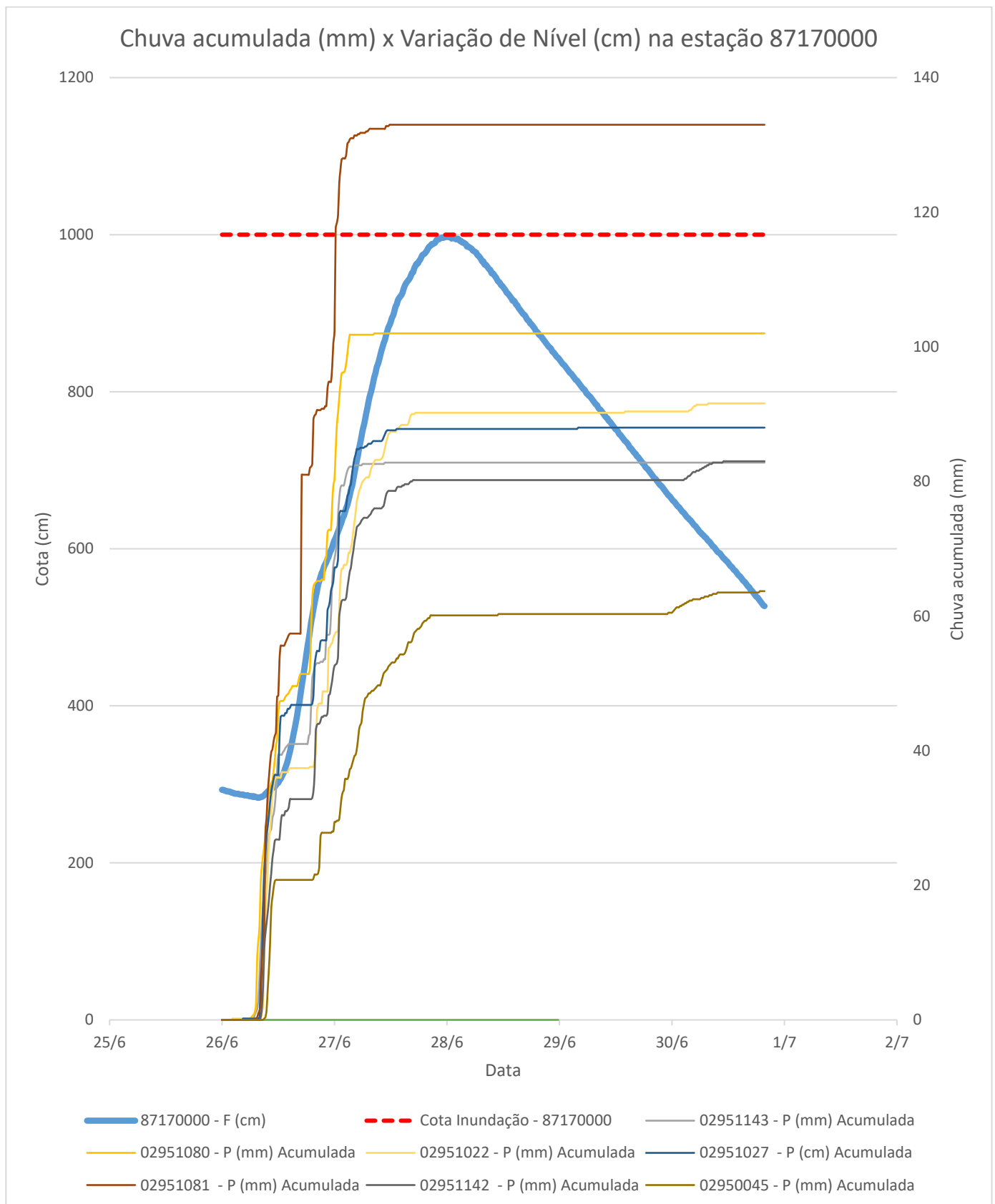


Gráfico 7: Cotagrama estação Barca do Caí e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 2.

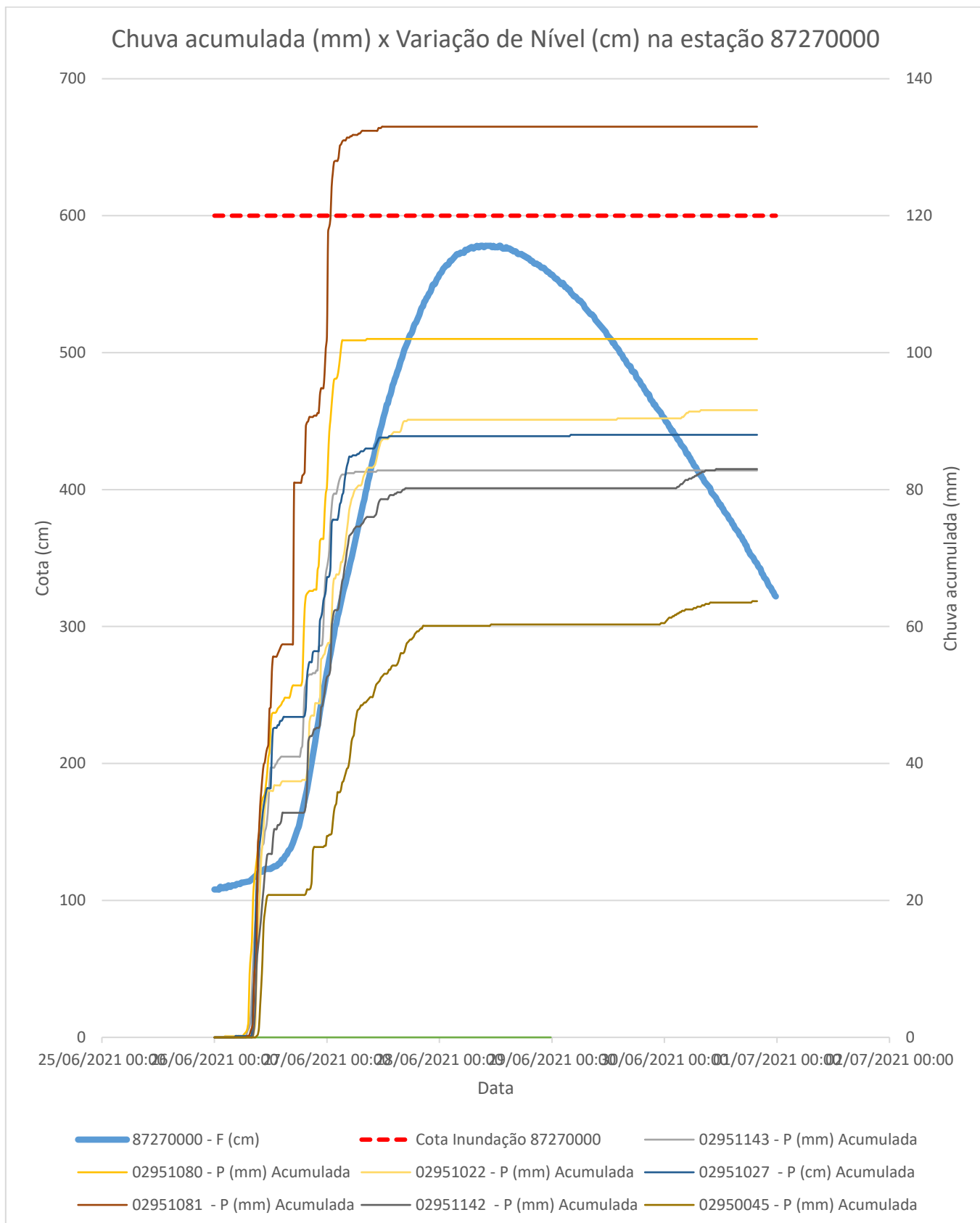


Gráfico 8: Cotagrama estação Passo Montenegro e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 2.

4.3 Evento 3

O evento 3 ocorreu entre 25/08/2021 e 29/08/2021, com precipitações que variaram de 76,2 mm (02951022) à 108,6 mm (02951080). Foram observadas elevações dos níveis no rio Caí com máximas de 544 cm em Montenegro e 895 cm em São Sebastião do Caí. O tempo de recorrência para ambas as cotas é de aproximadamente 1 ano. Em virtude de falha no sensor de nível da estação Passo Montenegro as leituras foram realizadas de forma manual pela observadora da estação.

Os gráficos 09 e 10 apresentam a evolução dos níveis do rio Caí e de seus afluentes em diversos pontos de monitoramento. O tempo transcorrido entre o pico observado na estação Nova Palmira (87160000) e o observado em São Sebastião do Caí foi de 14:30h, já em Montenegro o tempo foi de aproximadamente 17:30h. A tabela 09 apresenta um resumo dos níveis máximos observados durante o evento.

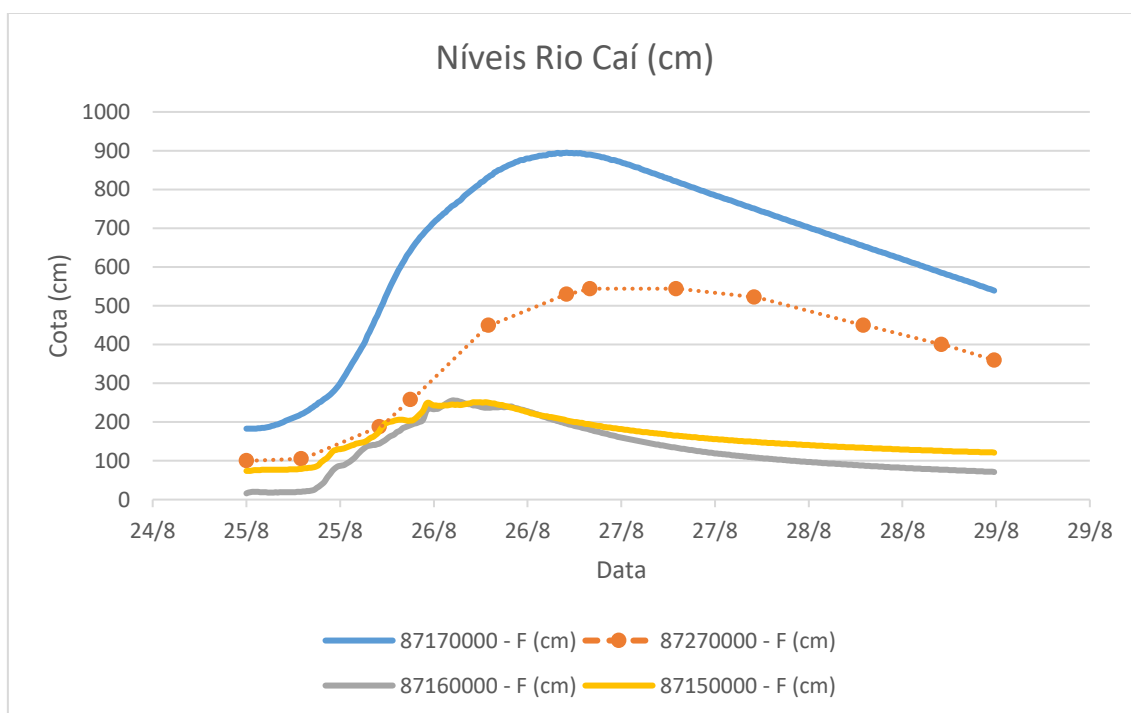


Gráfico 9: Cotagrama estações fluviométricas localizadas no rio Caí durante o evento 3.

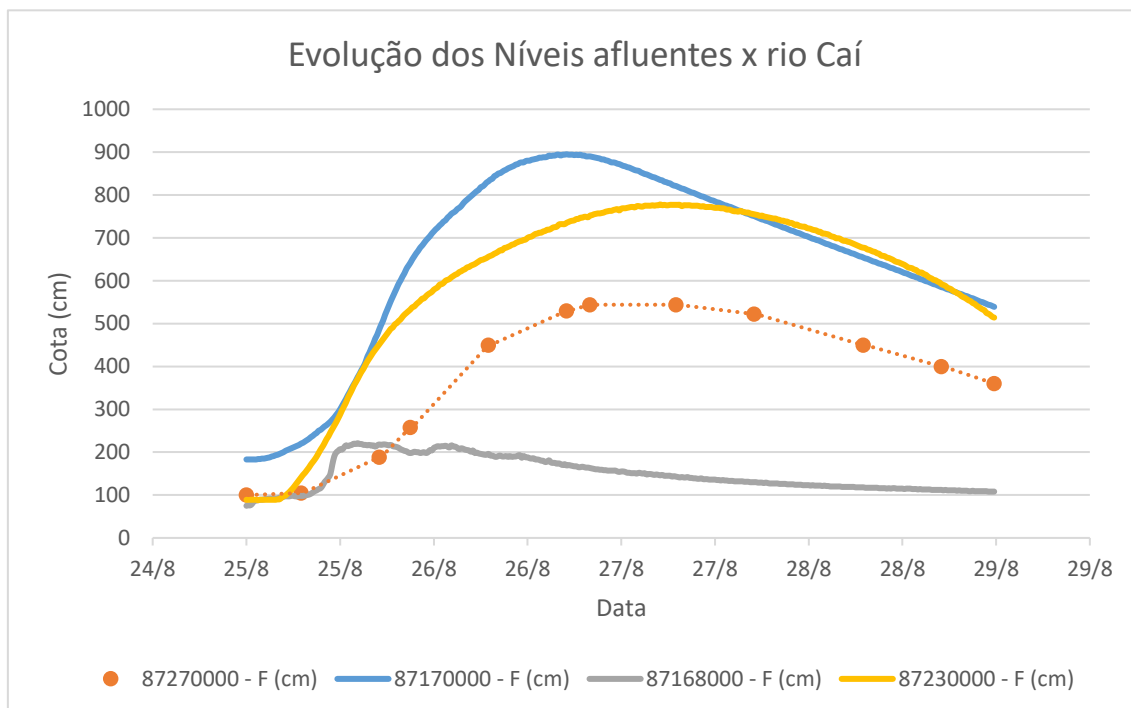


Gráfico 10: Cotagrama estação afluentes ao rio Caí durante o evento 3.

Tabela 9: : Níveis máximos observados durante o evento 3 de 2021.

| Estação | Nível Máximo Observado (cm) | Data - Hora |
|----------|-----------------------------|------------------|
| 87168000 | 221 | 25/08/2021 14:15 |
| 87160000 | 256 | 26/08/2021 02:30 |
| 87150000 | 251 | 26/08/2021 05:00 |
| 87230000 | 778 | 27/08/2021 05:00 |
| 87170000 | 895 | 26/08/2021 17:00 |
| 87270000 | 544* | 26/08/2021 20:00 |

Elaborado pelo Autor (2021) *Nível coletado de forma manual

A precipitação registrada no período foi superior a 76 mm em todos os postos de monitoramento, atingido 108,6 mm no posto 02951080 (Passo Montenegro). A máxima precipitação registrada em um período de 24 horas foi de 107,2 mm, entre as 07:30 do dia 25/08/2021 e 07:30 do dia 26/08/2021, também na estação Passo Montenegro. A tabela 10 traz uma síntese dos dados de precipitação observados durante o evento. Os gráficos 11 e 12 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. Devido ao mau funcionamento do pluviômetro da estação 0290050, durante o evento, seus dados foram suprimidos.

Tabela 10: Dados de precipitação observados durante o evento 3 de 2021

| Estação | Precipitação Acumulada (mm) 3 dias (25/08-28/08/2021) | Máxima Precipitação Acumulada em 24h (mm) |
|---------|--|--|
| 2951143 | 91,8 | 85,4 (25-26/08/2021 01:00) |
| 2951080 | 108,6 | 107,2 (25-26/08/2021 07:30) |
| 2951022 | 76,2 | 70,2 (25-26/08/2021 02:00) |
| 2950050 | - | - |
| 2951027 | 77,8 | 70,4 (25-26/08/2021 01:45) |
| 2951081 | 104,4 | 95,4 (25-26/08/2021 01:30) |
| 2951142 | 88,6 | 77 (25-26/08/2021 06:15) |
| 2950045 | 68,8 | 61 (25-26/08/2021 03:45) |

Elaborado pelo Autor (2021)

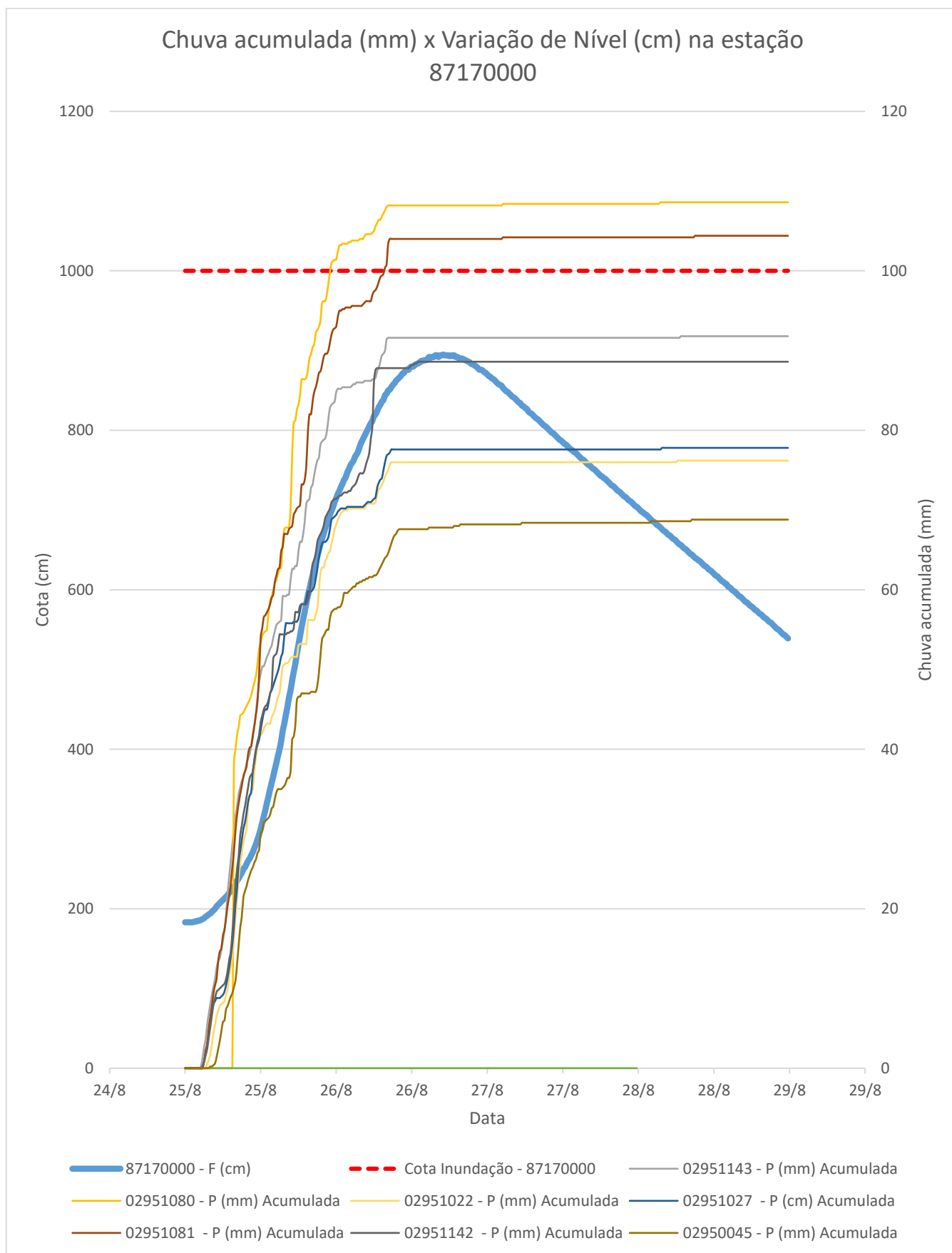


Gráfico 11: Cotagrama estação Barca do Caí e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 3.

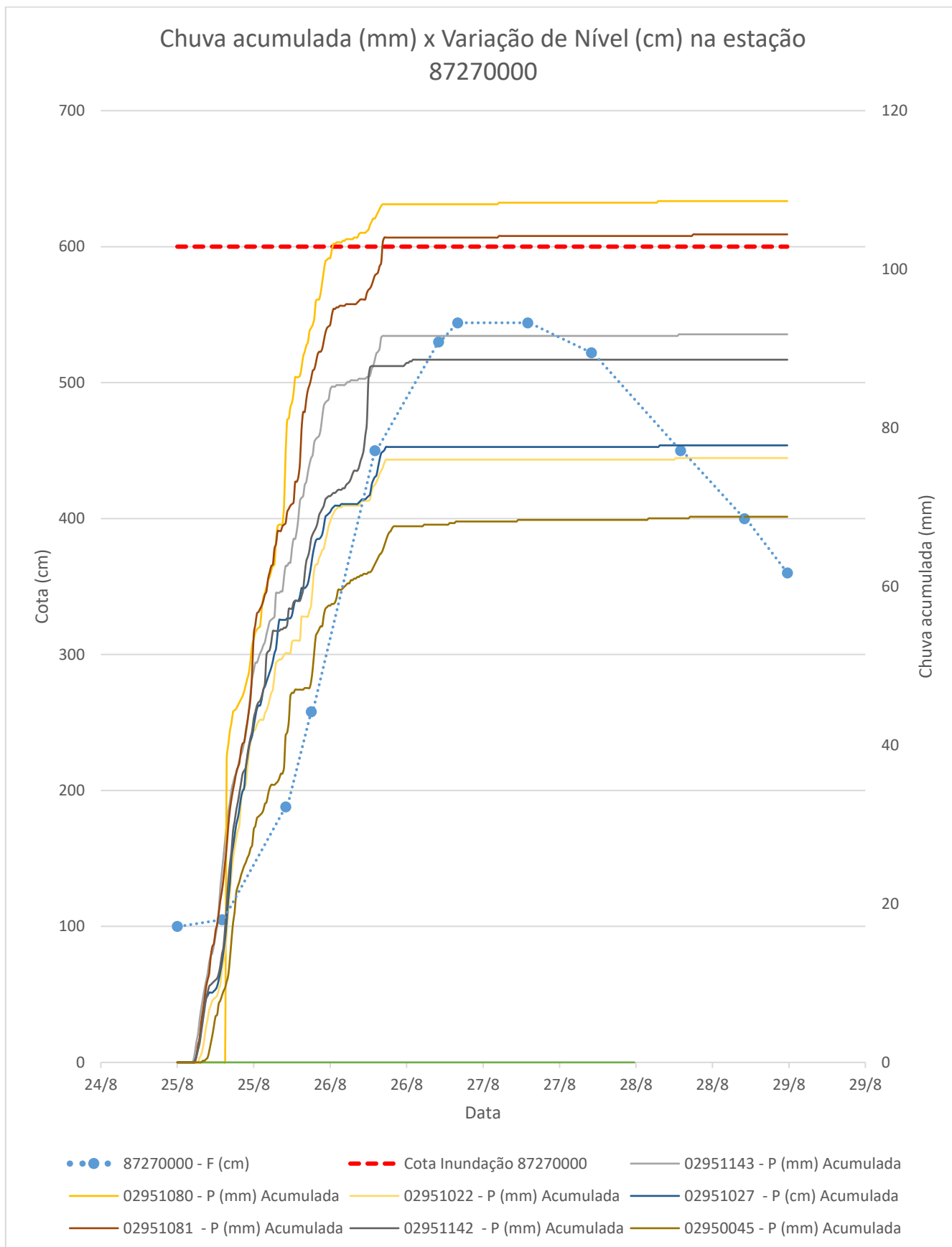


Gráfico 12: Cotograma estação Passo Montenegro e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 3.

4.4 Evento 4

O evento 4 ocorreu entre 07/09/2021 e 10/09/2021, com precipitações que variaram de 66,2 mm (02951143) à 88,6 mm (02951027). Foram observadas elevações dos níveis no rio Caí com máximas de 496 cm em Montenegro e 841 cm em São Sebastião do Caí. O tempo de recorrência para ambas as cotas é inferior a 1 ano. Em virtude de falha no sensor de nível da estação Passo Montenegro as leituras foram realizadas de forma manual pela observadora da estação.

Os gráficos 13 e 14 apresentam a evolução dos níveis do rio Caí e de seus afluentes em diversos pontos de monitoramento. O tempo transcorrido entre o pico observado na estação Nova Palmira (87160000) e o observado em São Sebastião do Caí foi de 10:45h, em Montenegro o tempo foi de aproximadamente 20:15h. A tabela 11 apresenta um resumo dos níveis máximos observados durante o evento.

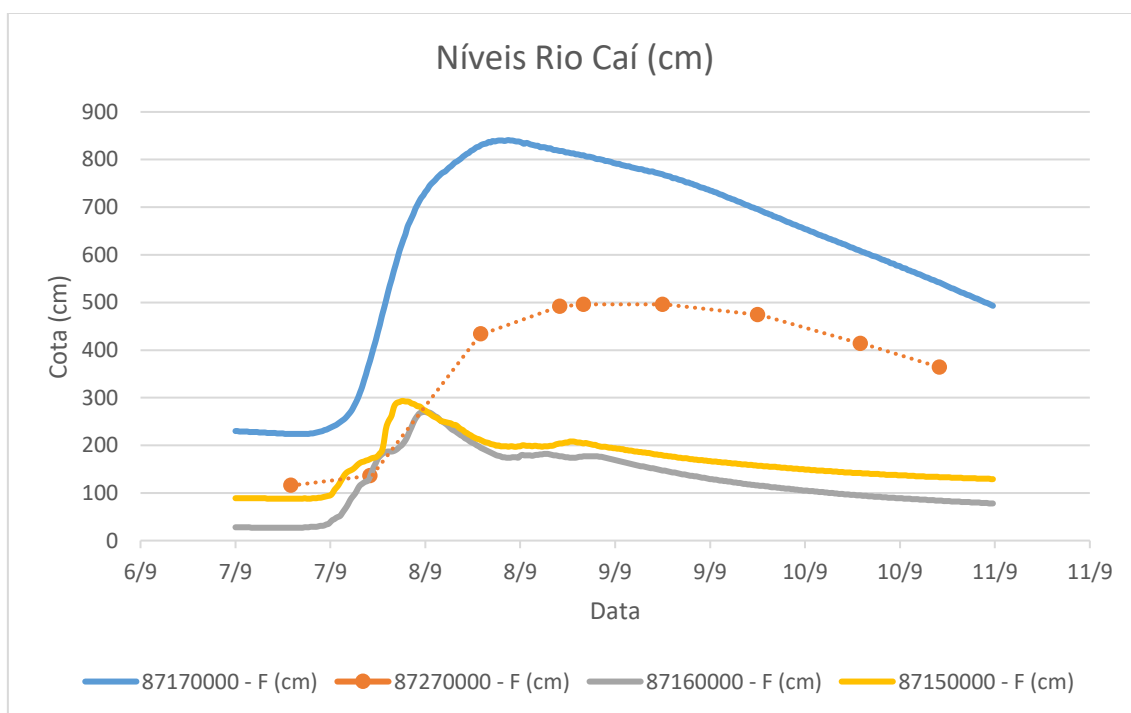


Gráfico 13: Cotograma estações fluviométricas localizadas no rio Caí durante o evento 4.

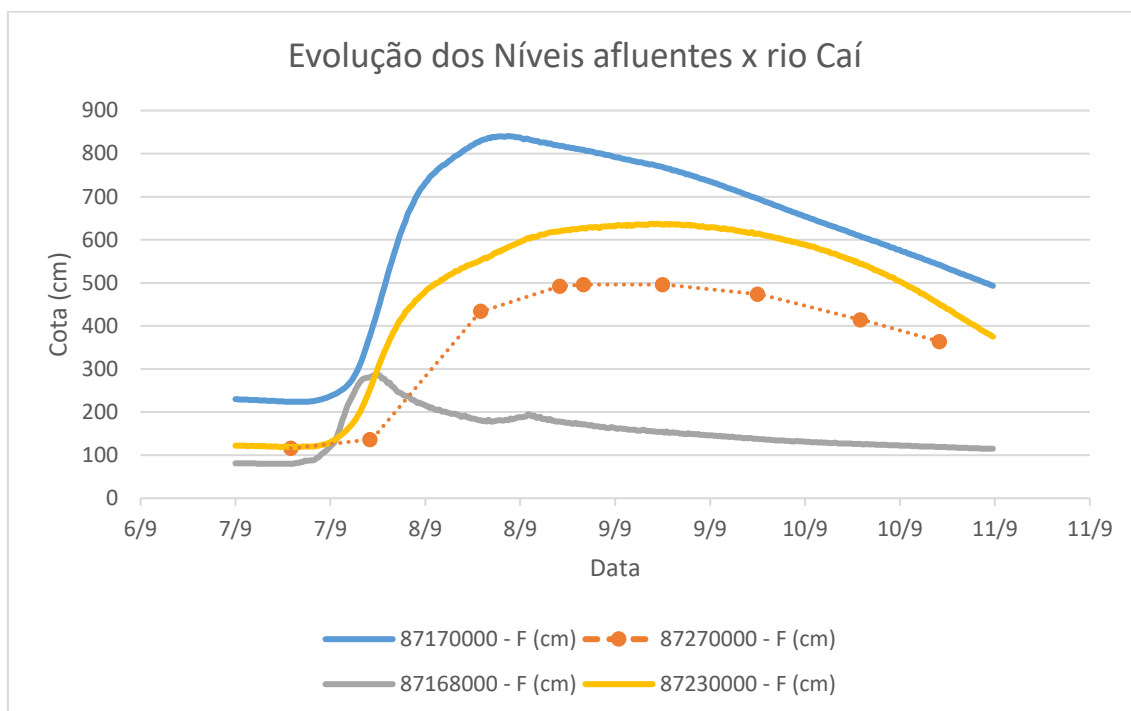


Gráfico 14: Cotograma estação afluentes ao rio Caí durante o evento 4.

Tabela 11: Níveis máximos observados durante o evento 4 de 2021.

| Estação | Nível Máximo Observado (cm) | Data - Hora |
|----------|-----------------------------|------------------|
| 87168000 | 286 | 07/09/2021 17:30 |
| 87160000 | 270 | 07/09/2021 23:45 |
| 87150000 | 293 | 07/09/2021 21:00 |
| 87230000 | 637 | 09/09/2021 04:30 |
| 87170000 | 841 | 08/09/2021 10:30 |
| 87270000 | 496* | 08/09/2021 20:00 |

Elaborado pelo Autor (2021) *Nível coletado de forma manual

A precipitação registrada no período foi superior a 66 mm em todos os postos de monitoramento, atingido 88,6 mm no posto 02951027 (São Vendelino). A máxima precipitação registrada em um período de 24 horas foi de 77,8 mm, entre as 17:30 do dia 06/09/2021 e 17:30 do dia 07/09/2021, também na estação São Vendelino. A tabela 12 traz uma síntese dos dados de precipitação observados durante o evento. Os gráficos 15 e 16 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. Devido ao mau funcionamento do pluviômetro da estação 0290050, durante o evento, seus dados foram suprimidos.

Tabela 12: Dados de precipitação observados durante o evento 4 de 2021.

| Estação | Precipitação Acumulada (mm) 3 dias (07/09-10/09/2021) | Máxima Precipitação Acumulada em 24h (mm) |
|---------|--|--|
| | | |

| | | |
|---------|------|-----------------------------|
| 2951143 | 66,2 | 53,6 (07-08/09/2021 09:15) |
| 2951080 | 80,4 | 58,4 (07-08/09/2021 07:00) |
| 2951022 | 79,4 | 69,6 (06-07/09/2021 19:00) |
| 2950050 | - | - |
| 2951027 | 88,6 | 77,8 (06-07/09/2021 17:30) |
| 2951081 | 67 | 53,80 (07-08/09/2021 09:30) |
| 2951142 | 69,2 | 50,8 (06-07/09/2021 16:30) |
| 2950045 | 71 | 57,4 (06-07/08/2021 18:00) |

Elaborado pelo Autor (2021)

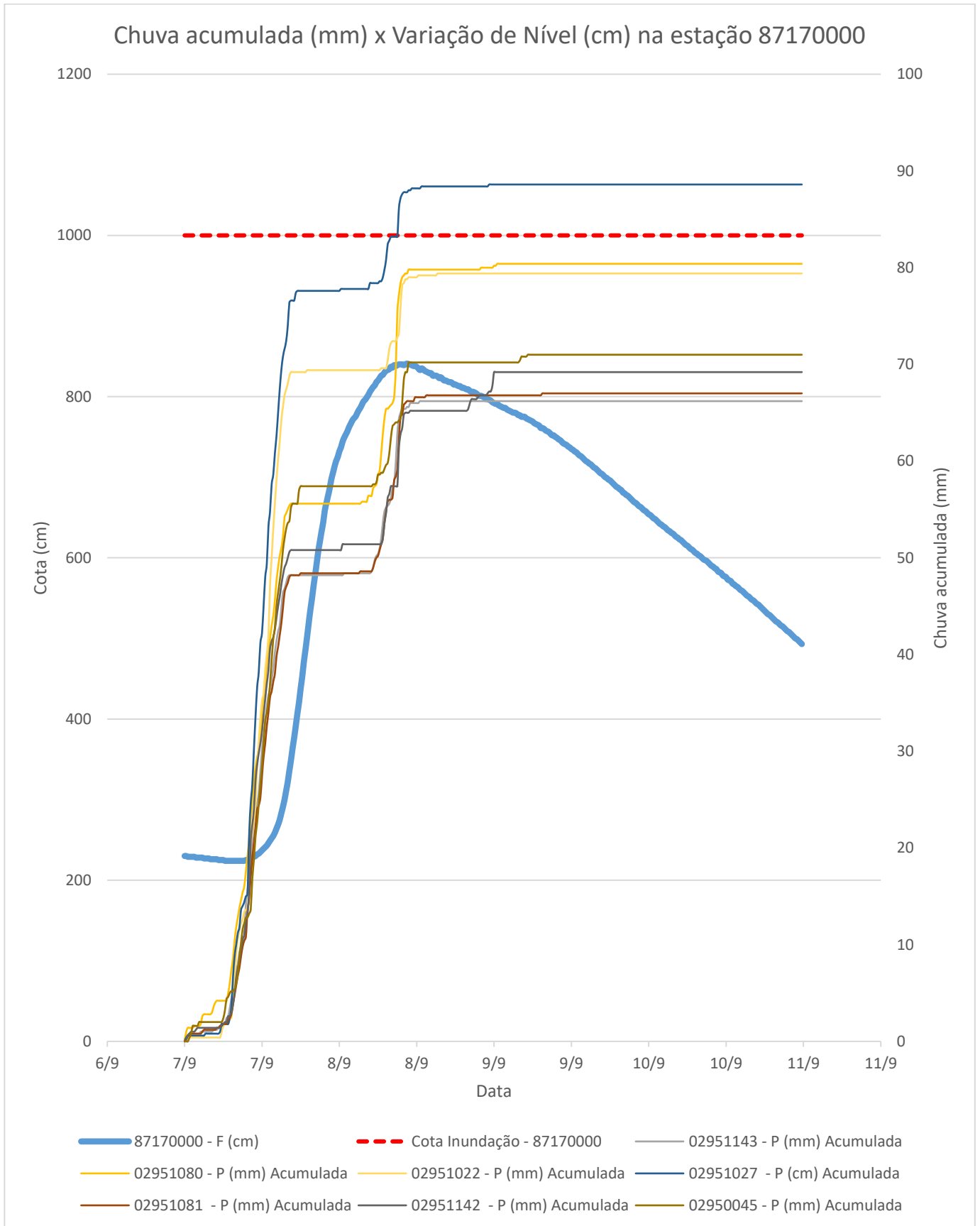


Gráfico 15: Cotagrama estação Barca do Caí e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 4.

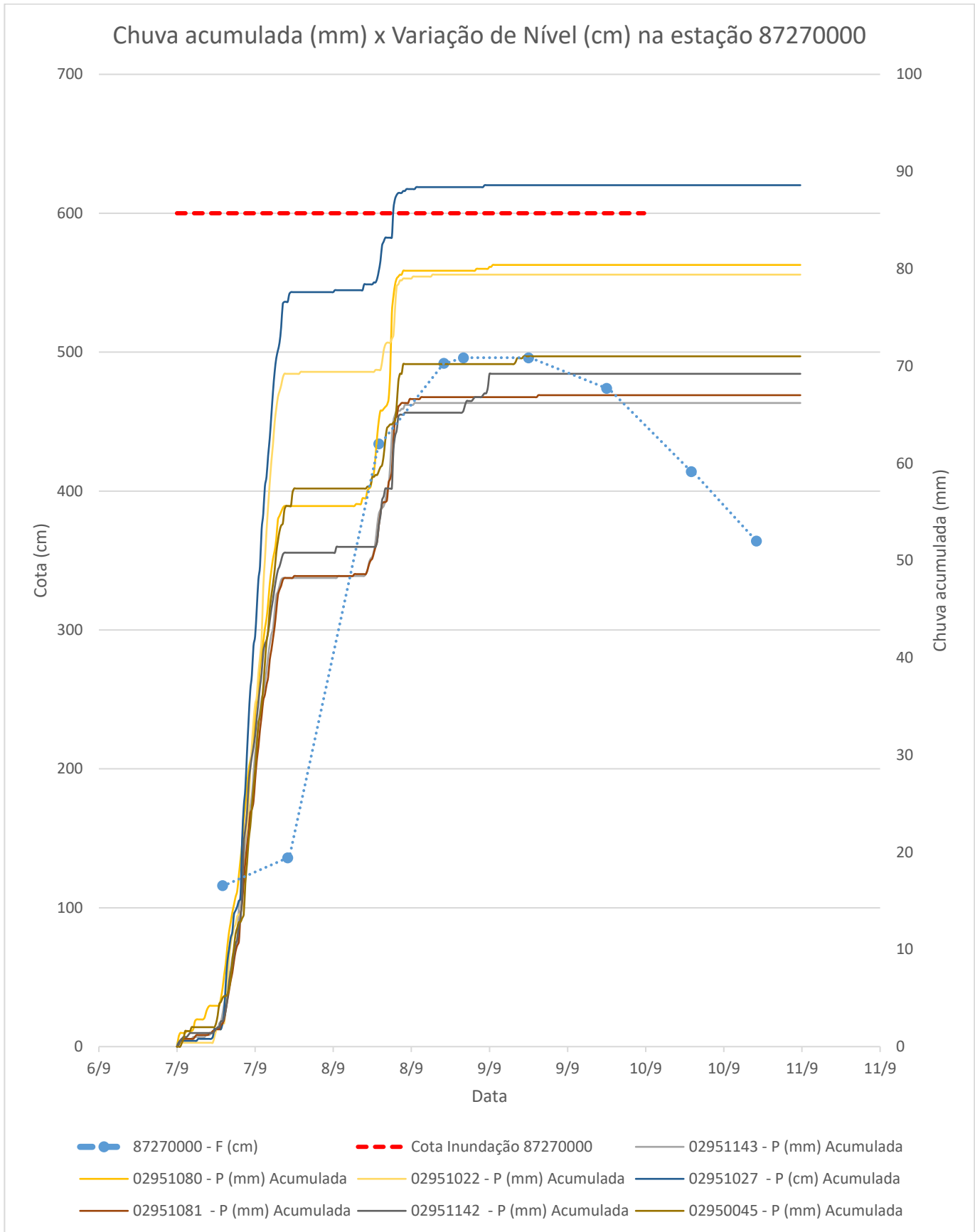


Gráfico 16: Cotagrama estação Passo Montenegro e chuva acumulada nas estações do SAH-Caí durante o evento 4.

5. OPERAÇÃO REALIZADA DURANTE OS EVENTOS

Durante o ano de 2021 o Sistema de Alertas Hidrológicos da Bacia do Rio Caí Caí (SAH-Caí) produziu e disponibilizou 23 boletins de alerta hidrológico com previsões de níveis para os municípios de São Sebastião do Caí e Montenegro, beneficiando diretamente uma população de aproximadamente 90.000 pessoas. Os boletins foram enviados nos meses de maio, junho, agosto e setembro em decorrência da superação dos níveis de alerta, nos dois municípios, em quatro ocasiões. Os gráficos 17 ao 24 trazem 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 18,5 cm e 13 cm respectivamente.

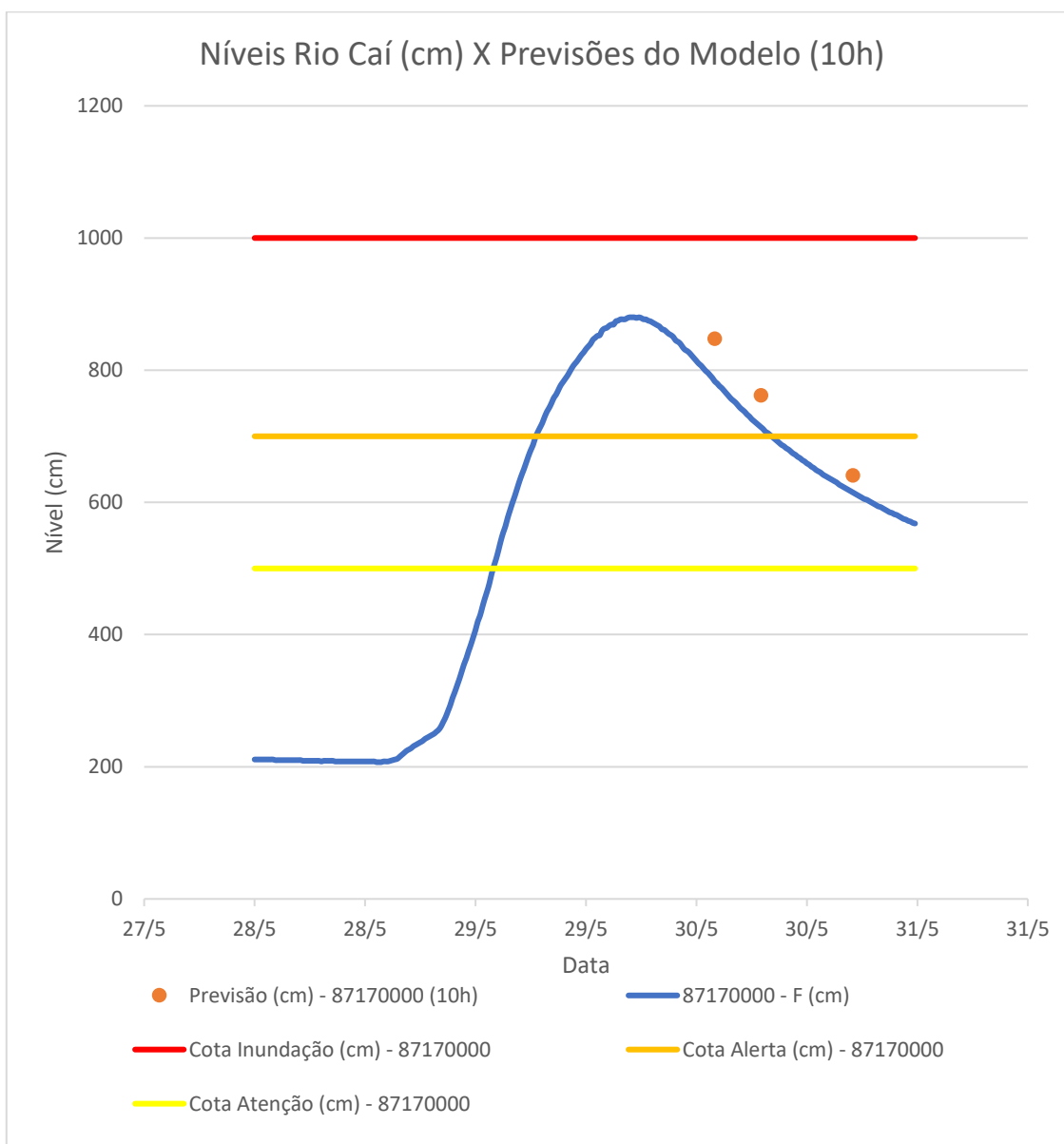


Gráfico 17: Cotograma das estações 8717000 com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido no mês de maio de 2021.

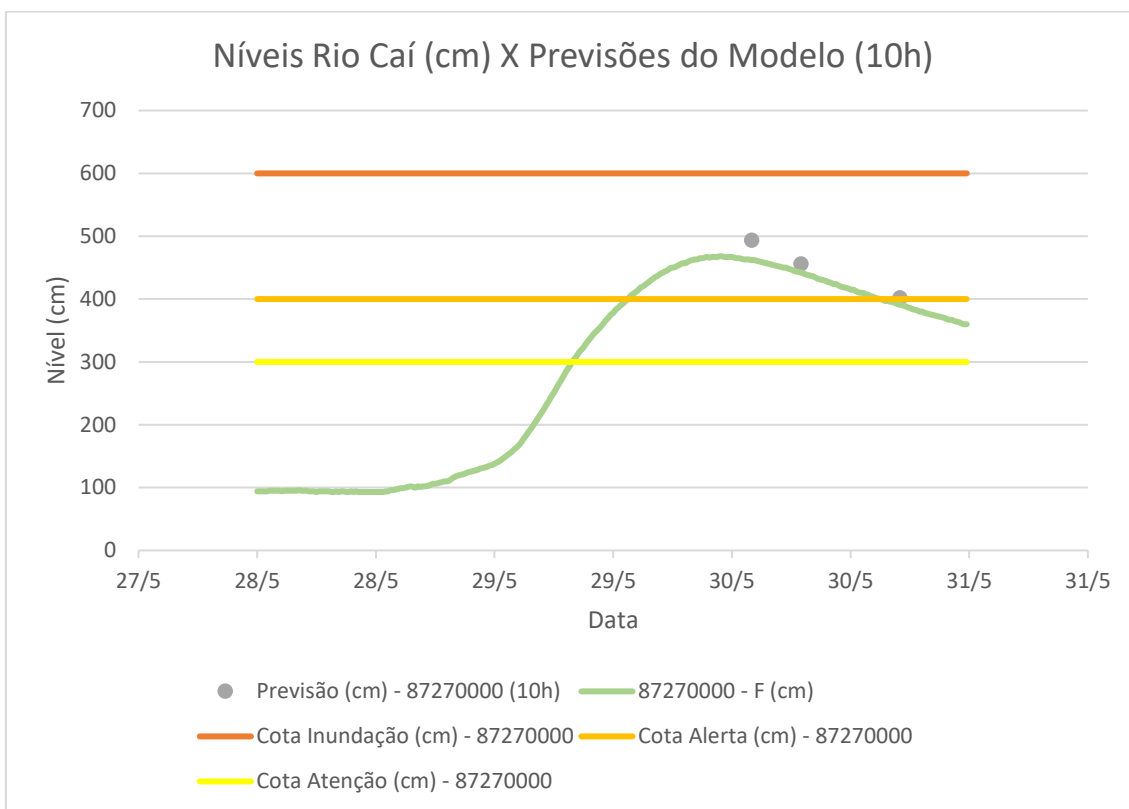


Gráfico 18: Cotograma das estações 8727000 com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido no mês de maio de 2021.

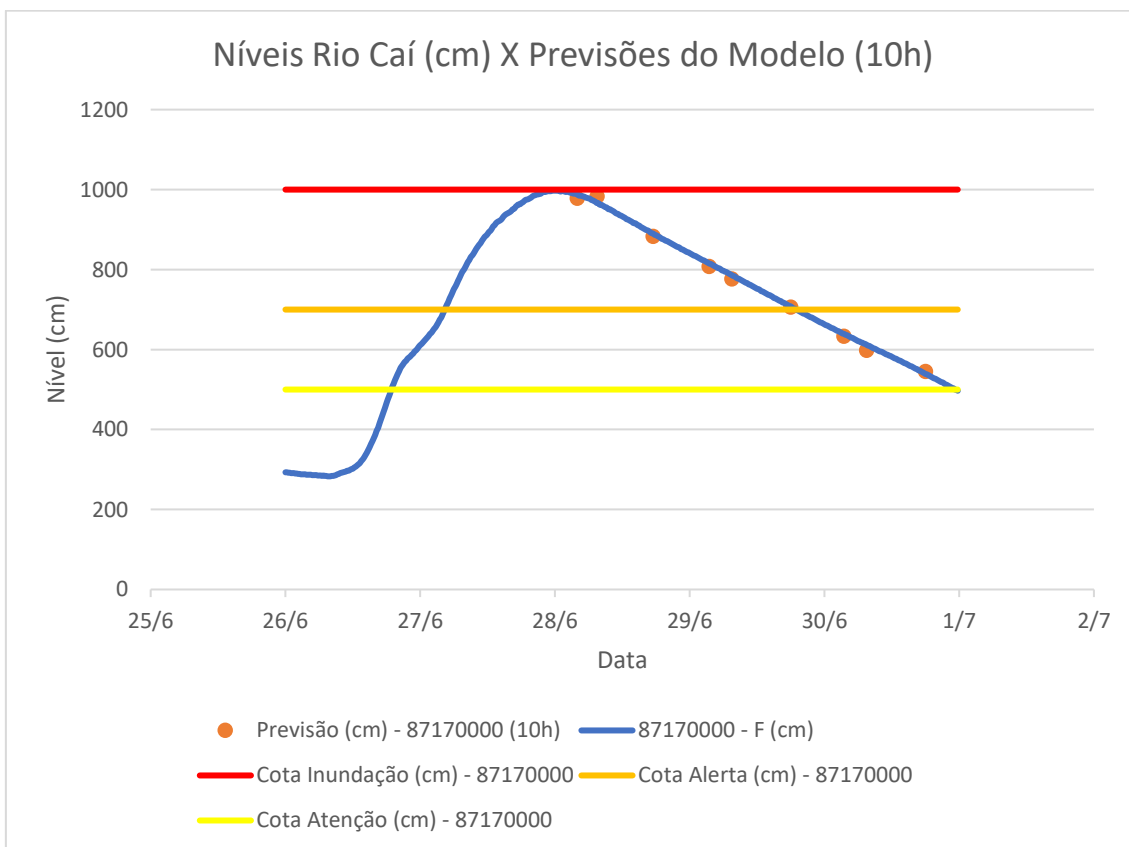


Gráfico 19: Cotograma das estações 8717000 com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido no mês de junho de 2021.

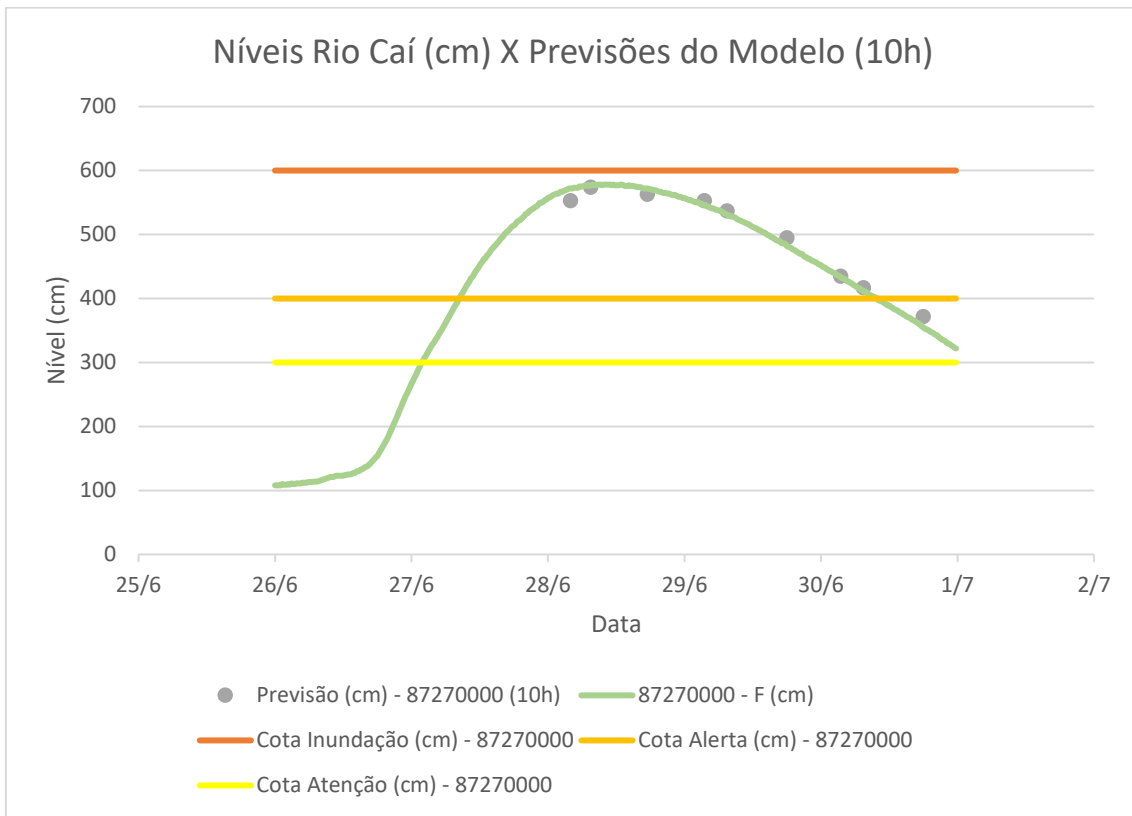


Gráfico 20: Cotagrama das estações 8727000 com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido no mês de junho de 2021.

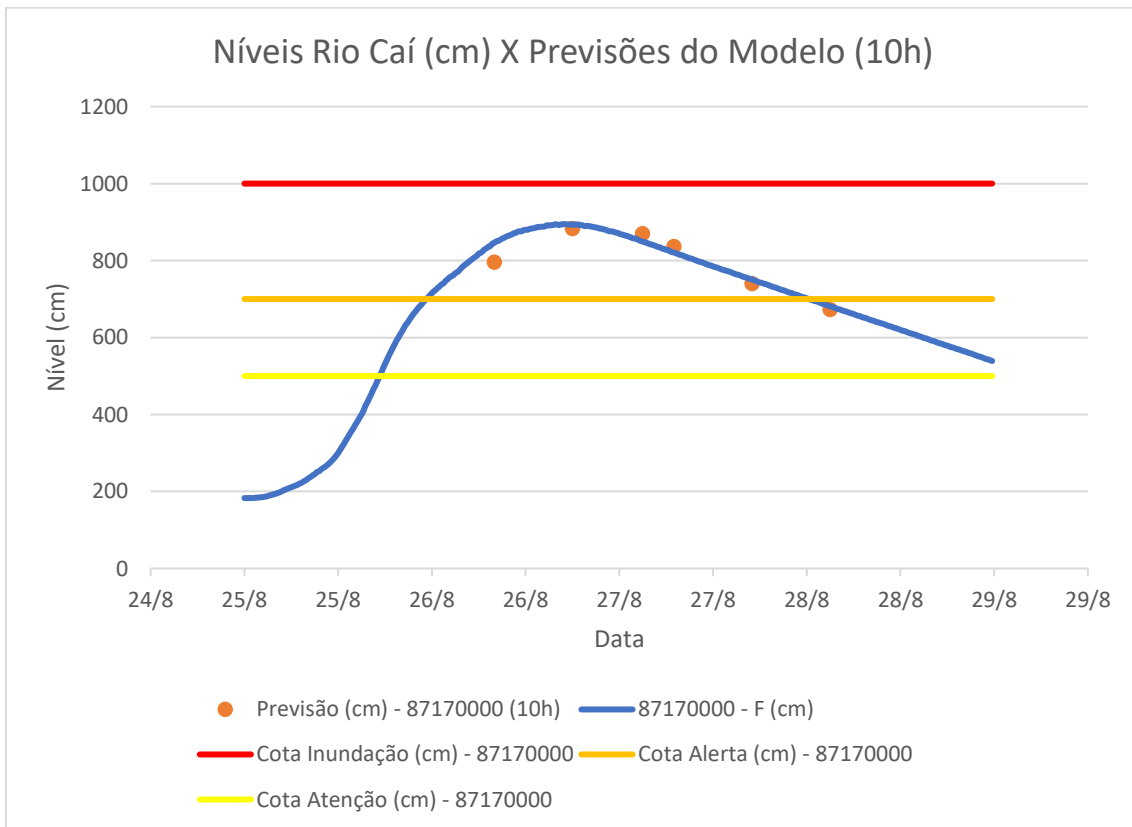


Gráfico 21: Cotagrama das estações 8717000 com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido no mês de agosto de 2021.

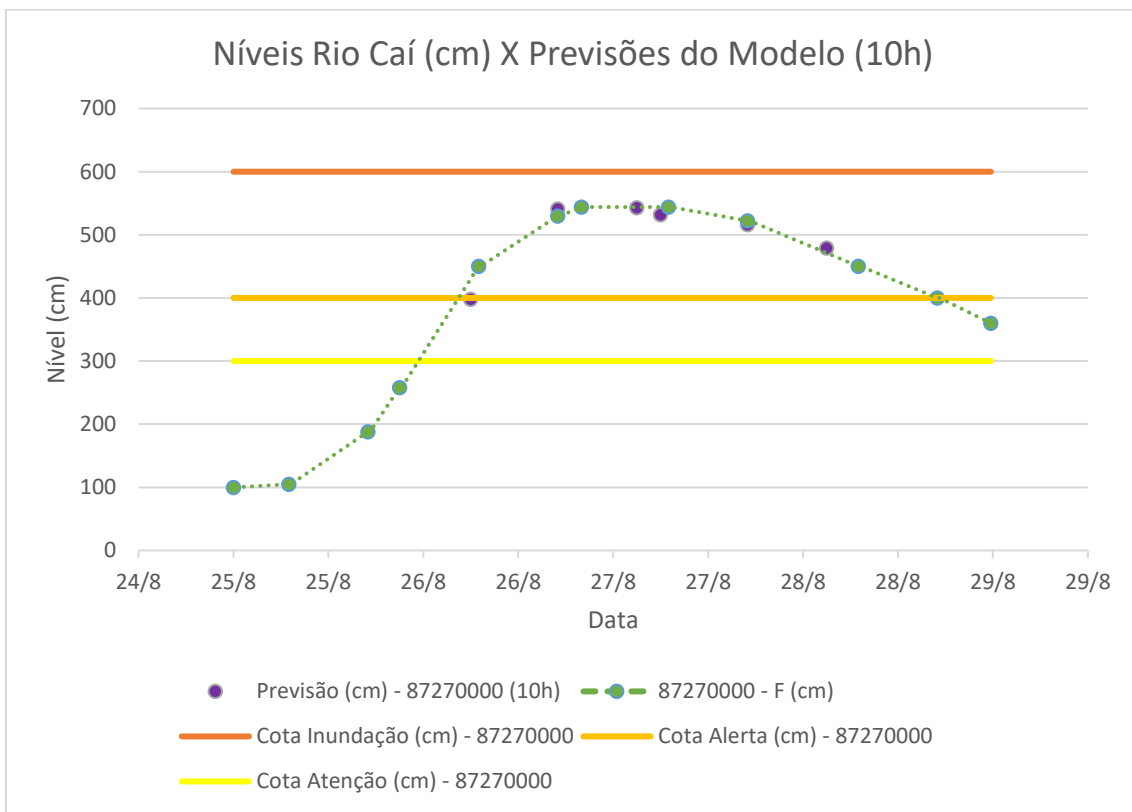


Gráfico 22: Cotograma das estações 8727000 com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido no mês de agosto de 2021.

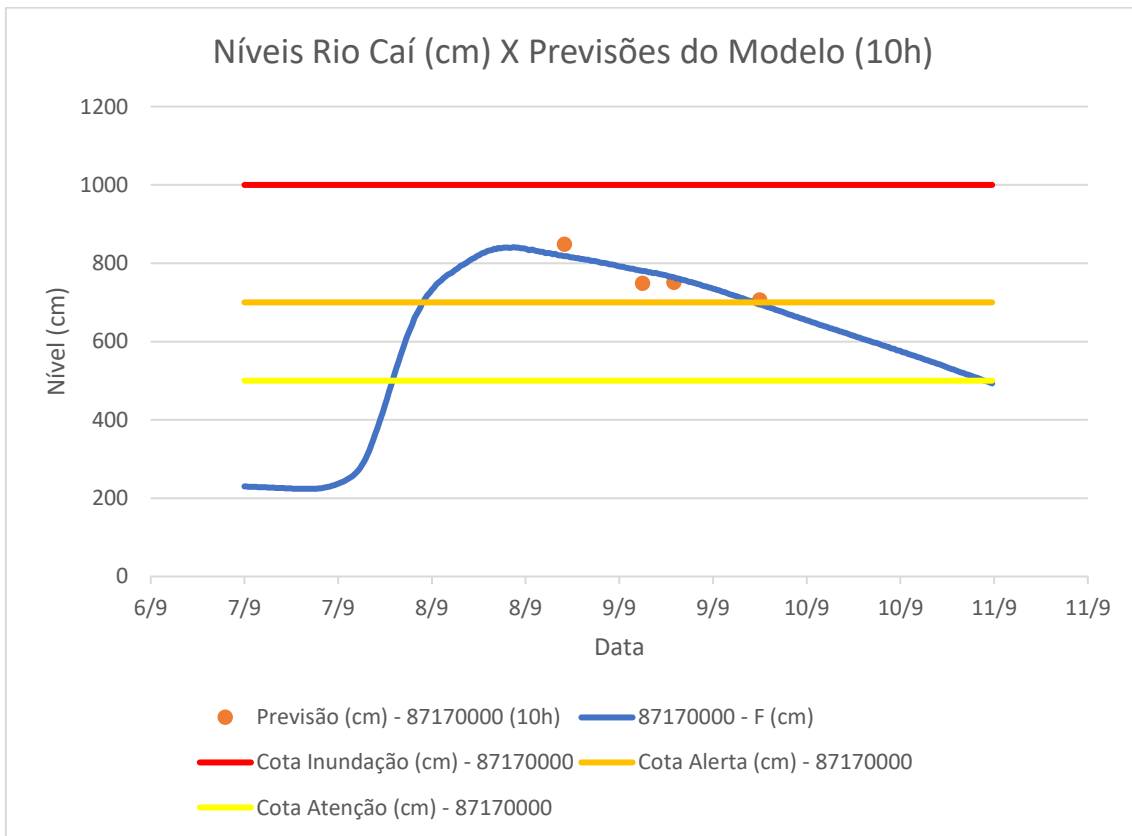


Gráfico 23: Cotograma das estações 8717000 com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido no mês de setembro de 2021.

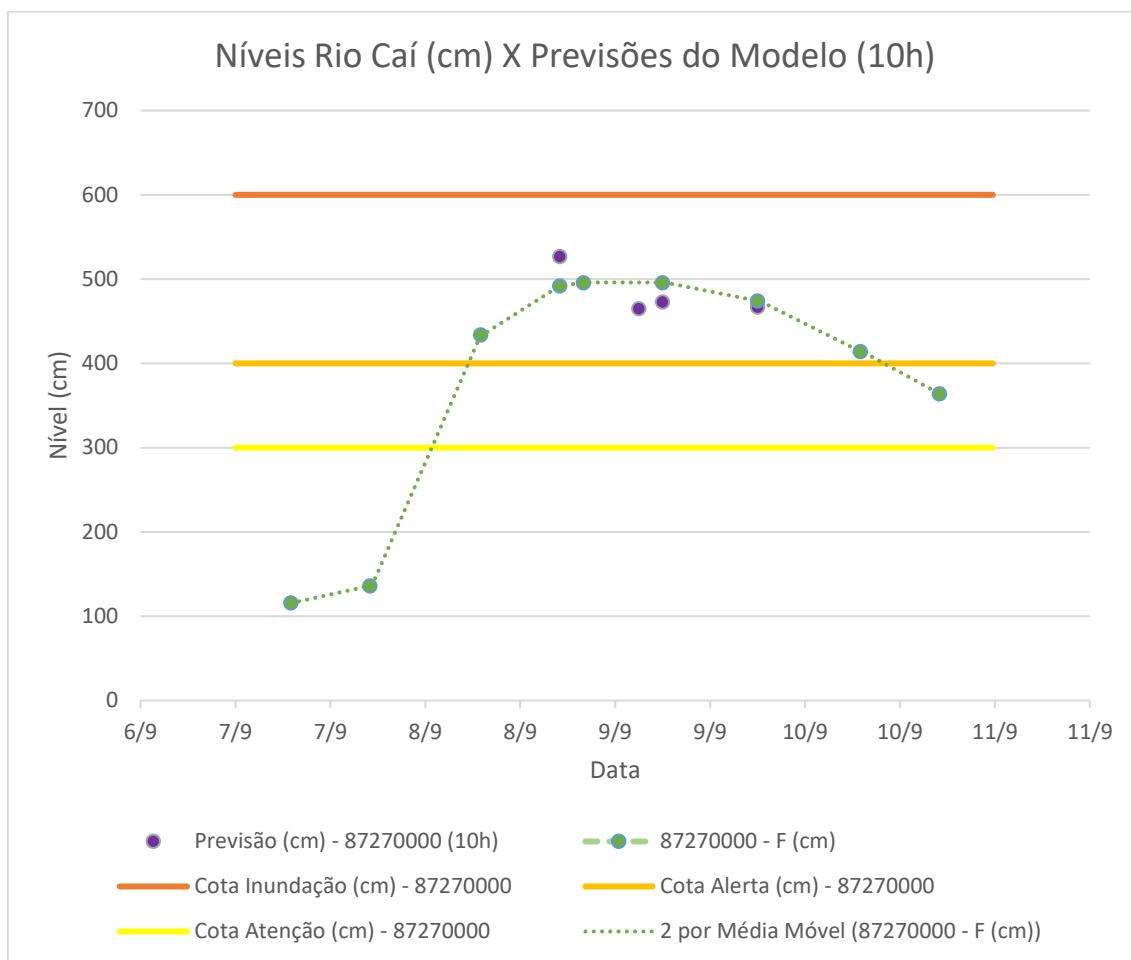


Gráfico 24: Cotograma das estações 8727000 com previsões realizadas durante o evento hidrológico ocorrido no mês de setembro de 2021.

6. PARTICIPAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DE REUNIÕES E EVENTOS

Apesar das restrições impostas pela pandemia de covid-19 a equipe do SAH-Caí esteve presente em diversos eventos de forma virtual e presencial, cumprindo todos os requisitos de distanciamento social, ao longo do ano de 2021. Com foco em temas ligados a operação de sistemas de alertas hidrológicos, mapeamento de inundações, coleta e processamento de dados hidrometeorológicos foi possível contribuir para a capacitação dos membros de defesas civis de vários municípios do estado do Rio Grande do Sul.

Com a temática voltada ao mapeamento de áreas de risco geológico, o curso básico de capacitação em percepção e mapeamento de risco geológico teve um espaço dedicado a sistemas de alertas de eventos extremos, onde foi possível abordar os conceitos básicos e apresentar a metodologia adotada pelo SGB/CPRM na operação de seus sistemas de alerta. O curso teve duas edições (Março e Julho), contando com trinta participantes em cada. A figura 3 ilustra o encerramento da 1ª edição realizada de forma on-line.

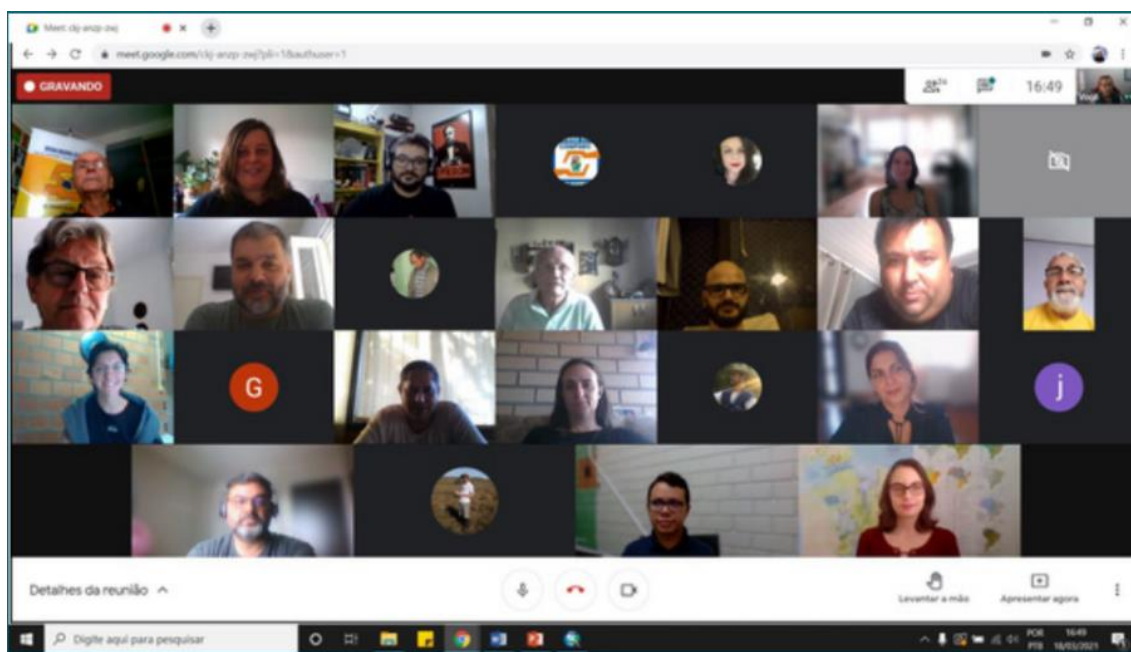


Figura 4: Turma da 1ª edição do curso básico on-line de capacitação em percepção e mapeamento de risco geológico

A equipe do SAH-Caí também esteve presente na oficina de capacitação para uso do Guia Prático de Alertas do Governo Federal promovida pelo CENAD (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres) e realizada no mês de agosto. Na ocasião foi possível interagir com os membros das defesas civis através da realização de um simulado virtual, onde previsões hidrológicas fictícias foram geradas para as cidades de São Sebastião do Caí e Montenegro.

Adicionalmente aos eventos de capacitação supracitados, durante o mês de outubro, foi possível realizar reuniões presenciais com as defesas civis das cidades de São Sebastião do Caí, Montenegro, Bom Princípio, Vale Real e Feliz. Na ocasião foram realizados levantamentos de campo para atualização dos níveis de inundação e vistorias para instalação de novas estações que possibilitariam a integração de novos municípios ao SAH-Caí. A figura 4 ilustra o processo de atualização do nível de inundação utilizando um GPS geodésico.



Figura 5: Atualização de níveis de inundação em conjunto com a defesa civil e bombeiros no município de Bom Princípio.

7. PUBLICAÇÕES E ARTIGOS

Em decorrência da necessidade de se determinar os níveis de referência para inundação severa nos municípios integrantes do SAH-Caí, foi proposta uma metodologia em artigo submetido e aceito no XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS.

O artigo intitulado “DETERMINAÇÃO DA COTA DE INUNDAÇÃO SEVERA COM BASE NO CRITÉRIO DE PREJUÍZOS ECONÔMICOS ASSOCIADOS: APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ – RS” traz uma abordagem de cunho econômico, utilizando integração de informações provenientes de mapas de inundação, compilação de dados censitário, revisão bibliográfica e coleta de dados em campo para realizar estimativas de danos em diversos níveis de inundação. Como resultado foi possível estimar o nível indicativo de inundação severa em São Sebastião do Caí em 1250 cm, esse valor está associado a um tempo de retorno de 3,5 anos aproximadamente.

8. CONCLUSÕES

Apesar das dificuldades impostas pelo distanciamento social em decorrência da pandemia de Covid-19 a operação do SAH-Caí, durante o ano de 2021, alcançou seu objetivo central subsidiando o processo de tomada de decisão, dos agentes responsáveis pelo gerenciamento de situações de risco, com informações de qualidade e em tempo hábil. Durante o período de monitoramento, novembro de 2020 a novembro de 2021, não foram percebidos eventos de grande magnitude. Nas quatro ocasiões onde os níveis de alerta foram atingidos o sistema foi capaz de antever a não superação dos níveis de inundação. A antecipação da não ocorrência de um evento de maior potencial de danos é importante, uma vez que pode otimizar a logística dos agentes envolvidos, bem como tem potencial de tranquilizar a população das regiões diretamente afetadas.

A operação de 2021 permitiu aprimorar a integração entre os agentes de defesa civil e o Serviço Geológico do Brasil, através da realização de treinamentos e reuniões, onde dúvidas e necessidades dos agentes foram compartilhadas. Também foi possível realizar o primeiro contato com municípios que demonstraram interesse em receber os produtos desenvolvidos pelo projeto.

Para o ano de 2022 esperamos ser possível integrar os municípios de Nova Santa Rita, Bom Princípio, Feliz e Vale Real ao sistema. Além de lançar dois novos produtos, o boletim de monitoramento hidrológico mensal e o alerta de estiagem.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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. Porto Alegre: Evangraf, 2013, v.1, p. 102-120.

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

SILVA, E. D. Determinação da cota de inundação severa com base no critério de prejuízos econômicos associados: aplicação ao município de São Sebastião do Caí, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, 24., 2021, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Abrhidro, 2021. p. 1-9.
