



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

LÍDIA LUISA MOTA DE PONTES

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS (INEA): UM  
ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO  
PARAÍBA DO SUL (RJ)**

RIO DE JANEIRO – RJ

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

LÍDIA LUÍSA MOTA DE PONTES

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS (INEA): UM  
ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO  
PARAÍBA DO SUL (RJ)**

Dissertação apresentada à banca examinadora da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadores: D. Sc. José Ricardo de Almeida França  
D. Sc. Lino Augusto Sander de Carvalho

RIO DE JANEIRO – RJ

2022

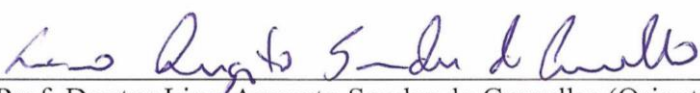
**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS (INEA): UM ESTUDO  
DE CASO PARA A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL  
(RJ)**

LÍDIA LUISA OLIVEIRA MOTA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (ÁREA: METEOROLOGIA).

Examinada por:

  
Prof. Doutor José Ricardo de Almeida França (Orientador)

  
Prof. Doutor Lino Augusto Sander de Carvalho (Orientador)

  
Profa. Doutora Claudine Pereira Dereczynski

  
Prof. Doutor Fabricio Polifke da Silva

  
Doutor Ricardo Marcelo da Silva

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Julho de 2022

P814a Pontes, Lídia Luisa Mota de  
AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS (INEA):  
UM ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO  
MÉDIO PARAÍBA DO SUL (RJ) / Lídia Luisa Mota de  
Pontes. -- Rio de Janeiro, 2022.  
100 f.

Orientadora: José Ricardo de Almeida França.  
Coorientadora: Lino Augusto Sander de Carvalho.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Meteorologia, 2022.

1. Inundações. 2. Sistema de Alerta de Cheias. 3.  
Desastres Naturais. 4. Desastres Hidrológicos. 5.  
Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. I.  
Almeida França, José Ricardo de, orient. II. Sander  
de Carvalho, Lino Augusto, coorient. III. Título.

*“Estamos todos matriculados na escola da vida,  
onde o mestre é o tempo.”*

(Cora Coralina)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de concluir mais essa etapa, e também por todo conhecimento e ensinamentos adquiridos ao longo desta caminhada.

Aos meus pais Antonio e Telma, que me acompanharam ao longo do caminho traçado na UFRJ, desde o início da graduação até o fim deste mestrado. Obrigada por todo o suporte necessário.

Ao meu marido Amaury, que foi um dos maiores motivadores e incentivadores para que eu concluísse essa jornada. Obrigada por ser uma pessoa ímpar na minha vida: tenho muito orgulho e prazer em dividi-la ao seu lado.

Aos meus familiares e amigos, que me apoiaram ao longo desta jornada, com incentivos e orações. Em especial, gostaria de agradecer à amiga Liz, afinal, "Um amigo fiel é uma poderosa proteção: quem o achou, descobriu um tesouro". (Eclo 6, 14).

Ao Sistema de Alerta de Cheias - INEA pela disponibilização dos dados para a elaboração desta pesquisa e a Universidade Federal do Rio de Janeiro por todo o aprendizado adquirido.

Aos meus orientadores José Ricardo e Lino, por todo conhecimento transmitido, por toda paciência e por me ajudarem a chegar à conclusão desta etapa. Muito obrigada!

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS (INEA): UM ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL (RJ)

Orientadores: José Ricardo de Almeida França e Lino Augusto Sander de Carvalho

Programa: Meteorologia

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

Este trabalho trata-se de um estudo de caso para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul (RH-III), que é afetada recorrentemente por inundações. Devido aos impactos sociais, econômicos e ambientais que esses desastres acarretam, buscou-se através desta pesquisa analisar o histórico de avisos emitidos pelo Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) entre maio de 2014 e abril de 2020, de modo a avaliar sua eficiência através dos índices de Alarme Falso, Índice Crítico de Sucesso e Proporção Correta. Através da retroanálise de 38 eventos que apresentaram elevações nos níveis dos rios monitorados da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, foram identificadas as variáveis hidrológicas – Tempo de Concentração (TC), Tempo de Resposta (TR), Tempo de Precipitação (TPU) e Precipitação Útil (PU) – com o intuito de observar se essas apresentavam indicativos de correlação. Além disso, também foi realizada uma investigação da precipitação e dos sistemas meteorológicos atuantes nos mesmos eventos detectados, de modo a identificar anomalias de chuva. Dos resultados obtidos, identificou-se que o estágio de Atenção, pertencente ao Protocolo Operacional do Sistema de Alerta de Cheias, diminuiu significativamente a eficiência das previsões de curtíssimo prazo realizadas pelo Sistema de Alerta de Cheias no que diz respeito ao envio de avisos, fazendo com que o índice de alarme falso seja alto. Com relação a influência que a variação do tipo de transmissão de dados causa na aplicação do Protocolo Operacional na RH-III, não houve diminuição significativa na eficiência, com baixo índice de alarme falso detectado (6%). Também foi detectado que o rio Barra Mansa é o único rio que apresenta ocorrência de eventos de inundação, o que levanta o questionamento sobre a representatividade das demais estações espalhadas pela RH-III. No âmbito hidrológico, identificou-se que há uma forte correlação (0,7) entre as variáveis TPU e TR, sendo este um resultado satisfatório. Além disso, observou-se que 60% dos alertas emitidos

para a RH-III estiveram relacionados com a passagem de Frentes Frias e a configuração de Zonas de Convergência do Atlântico Sul, informação esta que auxilia na melhor caracterização dos eventos de inundação para a região. Os demais 40 % de alertas emitidos para a RH-III estiveram envolvidos em episódios de ZCOU, efeitos termodinâmicos, configuração de sistemas de baixa pressão e cavados. Com relação ao regime de chuvas, não foi identificado comportamento extremo evidente para a precipitação em relação à média climatológica. Ao fazer uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), identificou-se períodos nos quais a chuva esteve abaixo da média climatológica, indicando um ambiente mais seco, porém com ocorrência de emissão de alertas.

**Palavras-chave:** desastres naturais, inundações, Sistema de Alerta de Cheias.



## ABSTRACT

### SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS (INEA) EVALUATION: A CASE STUDY FOR THE HYDROGRAPHIC REGION OF MEDIUM PARAIBA DO SUL (RJ)

Advisors: José Ricardo de Almeida França and Lino Augusto Sander de Carvalho

Department: Meteorology

Dissertation abstract presented to PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

This work is a case study for the Hydrographic Region of the Middle Paraíba do Sul (RH-III), which is recurrently affected by floods. According to what is known about the social, economic, and environmental impacts that these disasters cause, this research sought to analyze the history of alerts issued by the Sistema de Alerta de Cheias of the Instituto Estadual do Ambiente (INEA) between May 2014 and April 2020, to assess its efficiency through the False Alarm indices, Critical Success Index and Correct Proportion. Through the retro-analysis of 38 events that dissipate in the levels of the monitored rivers, they were identified as hydrological variables - Concentration Time (CT), Response Time (RT), Precipitation Time (PT) and Useful Precipitation (UP) - with the aim to observe whether these showed signs of correlation. Além disso, também foi realizada uma investigação da precipitação e dos sistemas meteorológicos atuantes nos mesmos eventos detectados, de modo a identificar anomalias de chuva. From the results obtained, it was identified that the Attention stage belonging to the Operational Protocol of the Flood Alert System, significantly reduces the efficiency of the very short-term forecasts made by the Flood Alert System about sending warnings, causing the false alarm rate to be high. Regarding the influence that the variation in the type of data transmission has on the application of the Operational Protocol in RH-III, there was no significant decrease in efficiency, with a low rate of false alarm detected (6%). It was also detected that the Barra Mansa River is the only river that has flood events, which raises questions about the representativeness of the other stations spread across RH-III. In the hydrological scope, it was identified that there is a strong correlation (0,7) between the PT and RT variables, which is a satisfactory result. In addition, it was observed that 60% of the alerts issued to RH-III were related to the passage of Cold Fronts and the configuration of Convergence Zones in the South Atlantic, information that helps to better characterize the flood events in the region. The remaining 40% of warnings issued for RH-III were involved in ZCOU episodes, thermodynamic effects, configuration of low pressure systems and troughs.

Regarding the rainfall regime, no evident extreme behavior was identified for precipitation in relation to the climatological average. By using the Rain Anomaly Index (RAI), periods were identified in which the rain was below the climatological average, indicating a drier environment, but with the occurrence of warnings.

**Keywords:** natural disasters, floods, Sistema de Alerta de Cheias.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xvi
1. INTRODUÇÃO .....	17
1.1 Objetivo .....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 Desastres Hidrológicos .....	19
2.2 Sistema de Alerta de Cheias .....	24
2.3 Climatologia de Precipitação no Estado do Rio de Janeiro .....	28
3. DADOS E METODOLOGIA.....	31
3.1 Área de estudo .....	31
3.2 Dados .....	37
3.3 Metodologia.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	45
4.1 Histórico de alertas .....	45
4.2 Variáveis hidrológicas .....	52
4.2.1 Casos de acerto .....	52
4.2.2 Casos de erro.....	55
4.2.3 Correlação entre variáveis hidrológicas.....	57
4.3 Sistemas meteorológicos.....	58
4.4 Climatologia de precipitação .....	62
5. CONCLUSÕES .....	66
6. REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE A – Recorte dos municípios monitorados pelo Sistema de Alerta de Cheias na RH-III.....	73
APÊNDICE B – Estações utilizadas na construção da climatologia de precipitação. ....	76
APÊNDICE C – Evolução dos processos de envio dos alertas. ....	77
APÊNDICE D – Cotogramas utilizados para o cálculo das variáveis hidrológicas nos casos de acerto.....	78
APÊNDICE E – Cotogramas utilizados para o cálculo das variáveis hidrológicas nos casos de erro. ....	93
ANEXO I – Relação de desastres naturais ocorridos na RH-III.....	97
ANEXO II – Características das sub-bacias da RH-III. ....	99

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Diagrama esquemático sobre a influência da dinâmica da Terra na ocorrência de desastres naturais. Fonte: Adaptado de Kobiyama et al. (2006). .....	19
<b>Figura 2:</b> Classificação dos desastres naturais quanto a sua tipologia. Fonte: Adaptado de COBRADE (2012). .....	20
<b>Figura 3:</b> Ilustração sobre a distinção dos eventos de cheias/enchentes e inundações. Fonte: CEMADEN (2020). .....	21
<b>Figura 4:</b> Pontos suscetíveis à ocorrência de inundações na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Fonte: COPPETEC (2014). .....	25
<b>Figura 5:</b> Modelo de hidrograma para cálculo de variáveis hidrológicas. Fonte: Farias Júnior e Botelho (2011). .....	27
<b>Figura 6:</b> Precipitação Média Anual para o estado do Rio de Janeiro. Fonte: Silva e Dereczynski (2014). .....	29
<b>Figura 7:</b> Divisão das Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: COPPETEC (2014). .....	31
<b>Figura 8:</b> Municípios monitorados pelo Sistema de Alerta de Cheias na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul - RJ. Fonte: Elaborado pela autora. ....	32
<b>Figura 9:</b> Rede hidrográfica da RH-III com os municípios monitorados pelo Sistema de Alerta de Cheias – RJ. Fonte: Elaborado pela autora. ....	34
<b>Figura 10:</b> Divisão de sub-bacias pertencentes à Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – RJ. Fonte: Elaborado pela autora. ....	36
<b>Figura 11:</b> Fluxograma referente às subdivisões que compõem a metodologia para este estudo de caso. ....	38
<b>Figura 12:</b> Fluxograma das etapas realizadas para o cálculo da eficiência. ....	41
<b>Figura 13:</b> Total de avisos emitidos para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre maio de 2014 e abril de 2020. ....	45
<b>Figura 14:</b> Relação de avisos emitidos para os rios Bananal, Barra Mansa e Preto entre maio de 2014 e abril de 2020. ....	47
<b>Figura 15:</b> Fluxograma do levantamento de eventos considerados. ....	48
<b>Figura 16:</b> Evento 29 – 08/01/2020 considerado caso de acerto. ....	54
<b>Figura 17:</b> Evento 05 – 22/02/2016 considerado caso de erro. ....	56

<b>Figura 18:</b> Quantitativo de avisos emitidos por mês para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre 2014 e 2020. ....	59
<b>Figura 19:</b> Distribuição mensal dos sistemas meteorológicos que atuaram na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – RJ no período de emissão de avisos. ....	59
<b>Figura 20:</b> Porcentagem da incidência de sistemas meteorológicos relacionados com as datas de emissão de avisos pelo Sistema de Alerta de Cheias para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul - RJ. ....	60
<b>Figura 21:</b> Porcentagem de sistemas meteorológicos atuantes durante a ocorrência de transbordamentos no rio Barra Mansa. ....	61
<b>Figura 22:</b> Quantitativo de avisos emitidos por tipo e por sistemas meteorológicos para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. ....	62
<b>Figura 23:</b> Comparação entre a normal climatológica de precipitação e a média calculada de precipitação para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre janeiro de 1986 e dezembro de 2019. ....	63
<b>Figura 24:</b> Anomalia padronizada entre a normal climatológica e a média calculada de precipitação para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre janeiro de 1986 e dezembro de 2019. ....	63
<b>Figura 25:</b> Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para a estação Resende – INMET. ....	65

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Discriminação do total de desastres por ano para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre 1979 e 1998. Fonte: Adaptado de COPPETEC (2014).....	23
<b>Tabela 2:</b> Discriminação do total de desastres por ano para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre 2000 e 2012. Fonte: Adaptado de COPPETEC (2014).....	23
<b>Tabela 3:</b> Definição dos estágios pertencentes ao Protocolo Operacional do Sistema de Alerta de Cheias. Fonte: Alerta de Cheias (2020). .....	26
<b>Tabela 4:</b> Estações que compõem a rede de monitoramento para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – RJ. Fonte: Elaborado pela autora com base em informações disponibilizadas pelo Sistema de Alerta de Cheias. ....	33
<b>Tabela 5:</b> Informações sobre as estações que compõem a rede de monitoramento da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – RJ. Fonte: Elaborado pela autora com base em informações disponibilizadas pelo Sistema de Alerta de Cheias. ....	33
<b>Tabela 6:</b> Levantamento demográfico dos municípios que compõem a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Fonte: IBGE CIDADES (2020).....	35
<b>Tabela 7:</b> Exemplos de eventos considerados nesta pesquisa. ....	40
<b>Tabela 8:</b> Esquema de tabela de contingência. Fonte: Adaptado de Wilks (2011). .....	41
<b>Tabela 9:</b> Classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). Fonte: Adaptado de Noronha, Da Hora e Silva (2016). .....	45
<b>Tabela 10:</b> Tabela de contingência considerando todos os avisos desde maio de 2014 até março de 2020. ....	49
<b>Tabela 11:</b> Resultado dos indicativos obtidos para avaliar a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias quanto à evolução dos estágios do Protocolo Operacional, de acordo com a Tabela 10. ....	49
<b>Tabela 12:</b> Tabela de contingência considerando somente os eventos descritos no Apêndice C. ....	50
<b>Tabela 13:</b> Resultado dos indicativos obtidos para avaliar a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias quanto à evolução dos estágios do Protocolo Operacional, de acordo com a Tabela 12. ....	50
<b>Tabela 14:</b> Tabela de contingência considerando somente os eventos descritos no Apêndice C. ....	51

<b>Tabela 15:</b> Resultado dos indicadores obtidos para avaliar a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias quanto ao tipo de transmissão de dados (GSM/GPRS e GOES/NOAA) realizado pelas estações mediante à aplicação dos avisos, de acordo com a Tabela 14.....	51
<b>Tabela 16:</b> Resultados das variáveis hidrológicas calculadas para os casos de acerto.....	52
<b>Tabela 17:</b> Resultados das variáveis hidrológicas calculadas para os casos de erro. ....	55
<b>Tabela 18:</b> Matriz de correlação de Pearson (r), entre as variáveis hidrológicas analisadas nos eventos ocorridos no rio Barra Mansa. ....	57
<b>Tabela 19:</b> Resultado de $r^2$ para as variáveis hidrológicas consideradas nesta pesquisa.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA (Agência Nacional de Águas)  
CBH (Comitê das Bacias Hidrográficas)  
CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais)  
CHM (Centro de Hidrografia da Marinha)  
COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres  
COPPETEC (Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos)  
CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)  
CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos)  
CRED (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*)  
FECAM (Fundo Especial de Controle Ambiental)  
Geo-Rio (Fundação Instituto de Geotécnica)  
GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*)  
GPRS (*General Packet Radio Services*)  
GPT-INPE (Grupo de Previsão de Tempo do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos)  
GSM (*Global System for Mobile*)  
IAC (Índice de Anomalia de Chuva)  
IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)  
INEA (Instituto Estadual do Ambiente)  
INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)  
IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas)  
JBN (Jato de Baixos Níveis)  
NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica)  
OMM (Organização Meteorológica Mundial)  
SAISP (Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo)  
SEGRHI (Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos)  
ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul)  
ZCOU (Zonas de Convergência de Umidade)



## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2011) e Tasca et al. (2017), inundações, enxurradas e alagamentos fazem parte da dinâmica natural da terra. Quando esses eventos atingem regiões habitadas pelo homem e geram danos, estes passam a ser denominados desastres naturais do tipo hidrológicos. Para Minervino e Duarte (2016), além dos danos humanos, os desastres naturais também causam impactos ambientais e socioeconômicos significativos, dentre eles estão: a destruição de moradias e construções, interrupção no fornecimento de água, energia elétrica, gás e alimento, além do comprometimento do fornecimento de serviços de saúde e educação.

De acordo com Vieira et al. (2016) e Tasca et al. (2017), o crescimento populacional e a expansão de áreas urbanas têm sido os maiores fatores contribuintes para o aumento do número desses eventos nessas regiões. Além disso, a ocupação irregular, que é uma consequência do adensamento populacional desenfreado, tem gerado o assoreamento dos canais fluviais e a degradação de suas áreas ambientais por meio do acúmulo de lixo e da impermeabilização do solo, resultando em sobrecarga do sistema de drenagem que acaba favorecendo a ocorrência de inundações, enxurradas e alagamentos.

Segundo Freitas et al. (2020), em uma avaliação feita dos desastres naturais ocorridos no Brasil entre 2000 e 2015, 56,2% correspondem aos desastres do tipo climatológicos, seguidos de 34,9% dos hidrológicos, 8% dos meteorológicos, e por fim, 0,9% dos geológicos. Dos desastres hidrológicos, os mais recorrentes são as inundações bruscas, com total de 3.130 eventos e inundações graduais, com total de 1.699 eventos. Carmo e Anazawa (2014), citam que entre 1991 e 2010, inundações bruscas e graduais foram os desastres que mais ocasionaram danos humanos no Sudeste brasileiro. Além disso, 32% das inundações bruscas registradas no Brasil estão sobre a região Sudeste.

Considerando os impactos que a ocorrência de inundações geram na sociedade e com o intuito de trazer suporte para as tomadas de decisões das Defesas Civas municipais do Estado do Rio de Janeiro junto à população, o Sistema de Alerta de Cheias no Instituto Estadual do Ambiente (INEA) vem realizando o monitoramento da precipitação e dos níveis dos rios em diversas estações hidrometeorológicas espalhadas por todo o Estado do Rio de Janeiro desde 2007, além de emitir alertas com a finalidade de divulgar os estágios nos quais os rios se encontram, permitindo assim que a Defesa Civil coloque em prática o plano de contingência junto à população.

Dentre as regiões monitoradas pelo Sistema de Alerta de Cheias, escolheu-se a Região

Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul para a realização deste estudo de caso, por ser uma região que apresenta importante papel econômico sobre o Estado e por apresentar as inundações como o tipo de desastre natural que possui maior incidência sobre a região, de acordo com um levantamento feito pela COPPETEC (2014), com um total de 37 eventos no período de 2000 a 2012. Com relação aos municípios que apresentaram maior incidência de inundações, Barra Mansa e Paraíba do Sul se destacam com um total de 6 eventos em cada município. Tendo em vista esse resultado e todo o impacto negativo que a ocorrência desses eventos pode causar para a população, esta pesquisa torna-se pioneira na análise do Sistema de Alerta de Cheias para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – RJ.

### **1.1 Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o desempenho do Sistema de Alerta de Cheias, baseado em um estudo de caso para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro, entre o período de maio de 2014 e abril de 2020. Além disso, esse estudo de caso possui também quatro objetivos específicos que serão abordados das seguintes maneiras:

1) Histórico de avisos, onde espera-se analisar a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias, além de identificar em qual rio da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul há maior ocorrência de inundações;

2) Hidrológico, onde espera-se concluir se há correlação entre as variáveis hidrológicas (Tempo de Concentração, Tempo de Resposta, Precipitação Útil e Tempo de Precipitação Útil), calculadas para os eventos de emissão de alertas;

3) Meteorológico, com o intuito de analisar quais sistemas meteorológicos estão relacionados com a maior emissão de alertas;

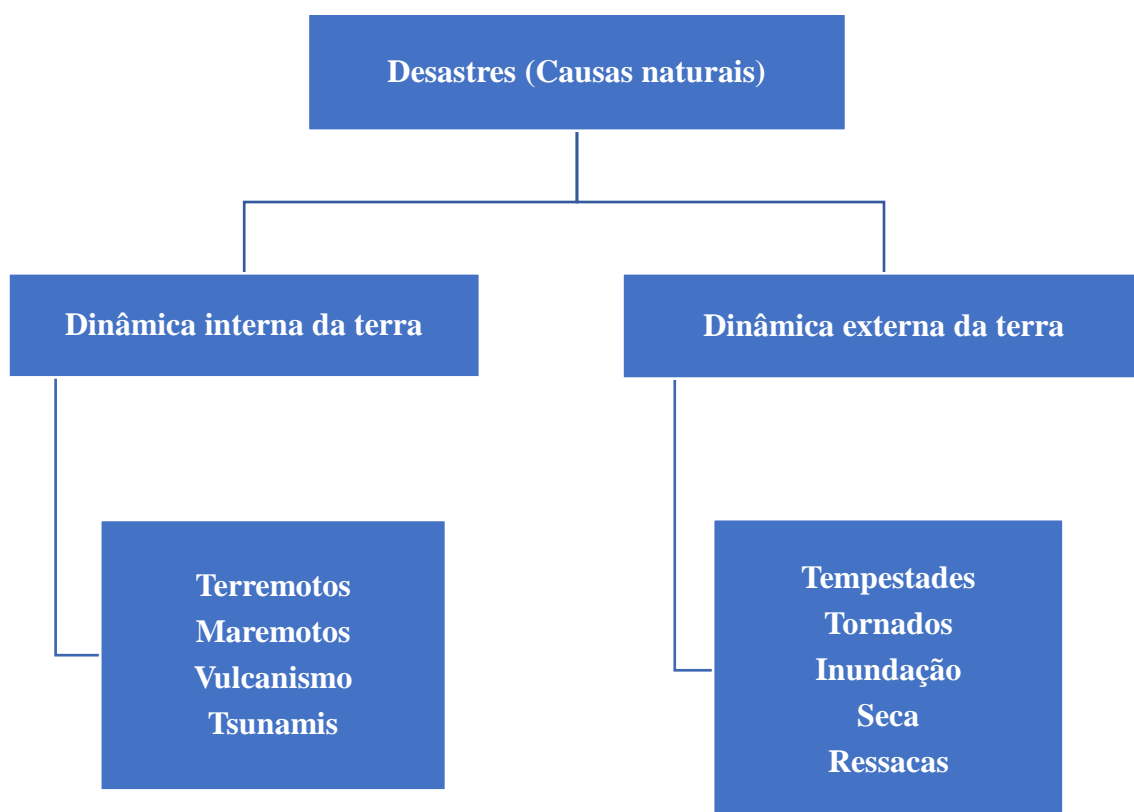
4) Climatológico, com a intenção de avaliar se a climatologia de precipitação obtida está acima ou abaixo da normal climatológica de precipitação para a região de interesse, além de identificar através do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), se ocorreram anomalias positivas de precipitação durante os meses nos quais houve emissão de alertas.

Espera-se que através deste estudo de caso possa ser obtido um panorama do desempenho do Sistema de Alerta de Cheias na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul (RH-III) em relação à emissão de avisos e que os resultados que venham a ser insatisfatórios possam mostrar os aspectos que precisam ser modificados. Além disso, espera-se que a investigação dos fatores meteorológicos, hidrológicos e climatológicos possam contribuir para melhor caracterizar o padrão de inundações na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

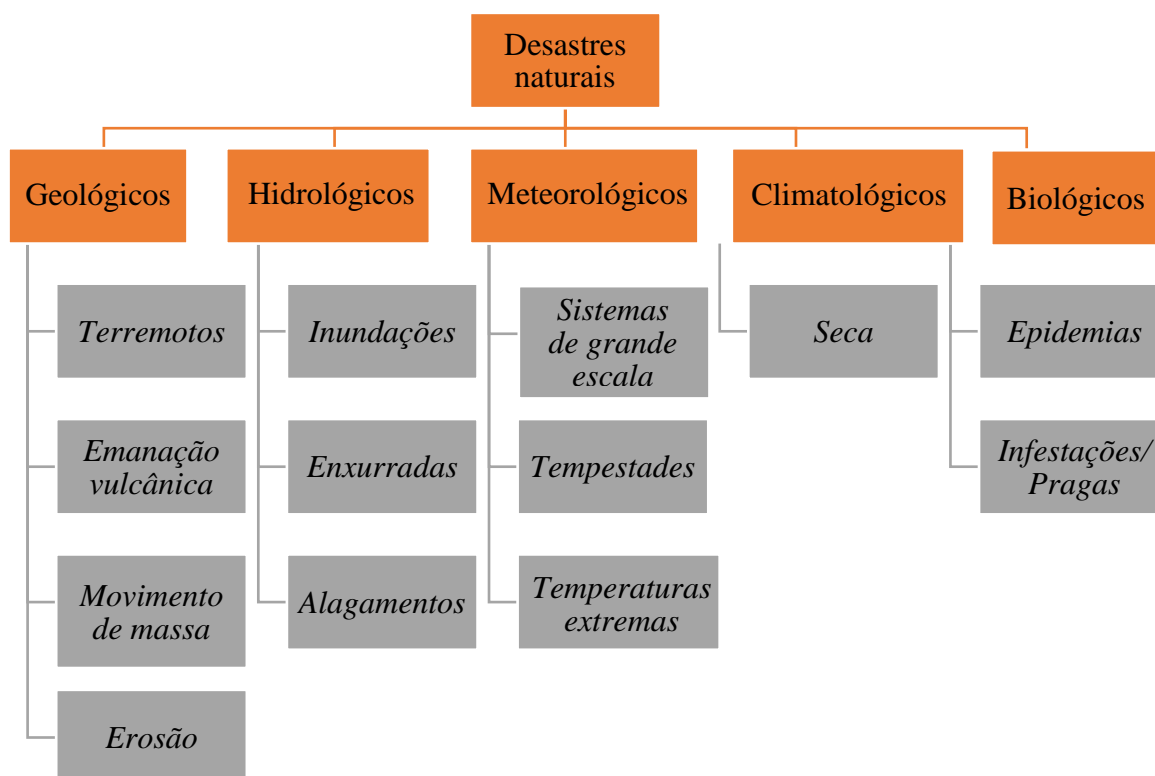
### 2.1 Desastres Hidrológicos

De acordo com Kobiyama et al. (2006) e Alcántara-Ayala (2002), inundações, escorregamentos, secas, furacões, entre outros, são fenômenos naturais severos, que são fortemente influenciados pelas características locais, tais como: a composição do solo, topografia, vegetação, condições meteorológicas entre outras coisas. Quando esses fenômenos ocorrem em locais onde os seres humanos vivem, acarretando perdas físicas e materiais, passam a ser considerados desastres naturais. Alcántara-Ayala (2002) ainda completa que um evento considerado como desastre natural, traz grande prejuízo para a sociedade, pois perturba o funcionamento desta mesma. Apesar de nem sempre causar mortes, normalmente gera graves impactos econômicos e sociais. Segundo Kobiyama et al. (2006), para os desastres que são considerados de origem natural, deve-se levar em consideração a dinâmica interna ou externa da Terra. Assim, há fenômenos que são provocados pela movimentação das placas tectônicas e que apresentam reflexo na superfície, bem como também, há fenômenos de origem externa que são gerados pela dinâmica atmosférica, conforme pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1:** Diagrama esquemático sobre a influência da dinâmica da Terra na ocorrência de desastres naturais. Fonte: Adaptado de Kobiyama et al. (2006).

No diagrama esquemático da Figura 2, são apresentadas as classificações dos desastres naturais quanto a sua tipologia e suas exemplificações.



**Figura 2:** Classificação dos desastres naturais quanto a sua tipologia. Fonte: Adaptado de COBRADE (2012).

Para Vestena (2008), os desastres naturais estão associados às características físicas do meio ambiente e às condicionantes antrópicas, principalmente a forma de uso e ocupação do solo. Além disso, os quatro pressupostos que permitem distinguir um desastre natural de um evento natural são os agentes geofísicos, o número de mortes, o custo dos danos e os impactos gerados sobre o sistema social.

Já para Parizzi (2014) e Wirtz et al. (2014), com base na definição do CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - 2009, desastres naturais podem ser definidos como uma situação ou acontecimento que ultrapassa a capacidade local de superar o problema, gerando uma necessidade de assistência externa a um nível nacional ou internacional. Pode-se compreender que os desastres são a convergência dos fatores perigo e vulnerabilidade. Sendo assim, um aumento da vulnerabilidade ambiental, social ou econômica pode resultar no aumento da frequência de catástrofes.

Conforme cita Vestena (2008), os desastres naturais relacionam os termos perigo, vulnerabilidade e risco. O perigo pode ser definido como um processo ou evento que ocorre naturalmente ou é induzido pelo homem, com potencial de gerar danos e prejuízos. Já a vulnerabilidade pode ser compreendida como a extensão do dano e prejuízo causado por um

perigo em um ou mais elementos em uma área afetada, dependendo diretamente das condições sociais e econômicas. O risco pode ser entendido como a interação entre o perigo e a vulnerabilidade, sendo uma probabilidade que indica as consequências dos danos ou perdas esperadas de vidas, feridos, habitares e atividades econômicas e/ou ambientais. Dessa forma, se um fenômeno atmosférico ocorrer em uma área povoada, provocando mortes e danos materiais, este mesmo será classificado como desastre natural. Caso contrário, será considerado apenas como um evento natural.

Com relação aos desastres hidrológicos, Goerl e Kobiyama (2005) definem enchentes ou cheias como elevações do nível da água em um canal de drenagem qualquer, causando o aumento da vazão, mas sem transbordar. Quando há um transbordamento, ou seja, uma extrapolação do volume de água para fora do canal de drenagem do rio, por conta do aumento da vazão, tem-se um evento de inundação. Na Figura 3, é possível compreender a distinção entre ambos os eventos de cheias/enchentes e inundações.



**Figura 3:** Ilustração sobre a distinção dos eventos de cheias/enchentes e inundações. Fonte: CEMADEN (2020).

Além disso, as inundações podem ser classificadas em: graduais, quando o aumento do nível da água e conseqüentemente o transbordamento ocorrem lentamente, sendo usualmente chamadas na literatura internacional de *flood* ou *flooding*; bruscas, sendo aquelas que ocorrem de forma repentina, geralmente associadas à grandes volumes de precipitação, também conhecidas internacionalmente como *flash floods* ou enxurradas (GOERL; KOBIYAMA, 2005). Corral et al. (2019) explica que o lapso de tempo entre a ocorrência da precipitação e de

inundações e enxurradas, depende principalmente das características da bacia, podendo variar entre minutos e horas. IPT (2007) acrescenta que os eventos de enxurradas são aqueles que apresentam escoamento superficial concentrado e alta energia de transporte, podendo ou não estarem associados aos processos fluviais. Esse tipo de evento é comum ao longo de vias que foram construídas sobre antigos cursos d'água com alto gradiente hidráulico e em terrenos que apresentam alta declividade natural.

Há também os eventos de alagamento, definidos como o acúmulo momentâneo de águas em um determinado local por conta de problemas no sistema de drenagem, podendo ou não apresentar relação aos processos fluviais (IPT, 2007).

Abdo (2020) atribui o aumento da ocorrência de desses eventos hidrológicos ao aumento populacional e ao rápido crescimento urbano nas bacias hidrográficas. Nasiri, Yusof e Ali (2016) complementa que as mudanças climáticas, alterações no uso do solo e aumento da impermeabilização das superfícies por conta de áreas urbanas também são fatores que induzem o aumento de eventos hidrológicos.

Em um levantamento realizado por COPPETEC (2014) de todos os tipos de desastres que já ocorreram no Estado do Rio de Janeiro para o período de 1979 a 2012, os anos de 2010 e 2009 foram os que apresentaram maior número de desastres para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, totalizando 14 e 12, respectivamente, seguidos dos anos 2003, 2008 e 2011, com um total de 9 eventos, conforme pode ser verificado nas Tabelas 1 e 2. Em toda a série analisada, os municípios de Barra Mansa, Paty do Alferes e Barra do Piraí foram os que apresentaram maior número de incidência de desastres naturais, com um total de 16, 15 e 11 eventos, respectivamente.

É importante ressaltar que, com relação aos tipos de desastres anteriores aos anos de 2000, os decretos estaduais ainda não caracterizavam as ocorrências conforme o manual de classificação da Defesa Civil feito atualmente. As descrições dos decretos são muito sucintas e os mais antigos utilizam apenas expressões, tais como "tendo em vista as chuvas que assolaram o município...", não especificando o tipo de desastre e por vezes nem a data ou o mês da ocorrência do evento. No total, os decretos se referem a 75 desastres naturais no estado do Rio de Janeiro, ocorridos entre 1979 e 1999, sendo todos relacionados às chuvas, nenhum de estiagem, com inundações na maioria dos relatos. Além disso, para os anos de 1985 e 1999, não foram constatados decretos no histórico do Corpo de Bombeiros. Sendo assim, a análise dos tipos de desastres ocorridos na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul só foi feita no período de 2000 a 2012 (COPPETEC, 2014).

**Tabela 1:** Discriminação do total de desastres por ano para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre 1979 e 1998. Fonte: Adaptado de COPPETEC (2014).

RH-III (Médio Paraíba do Sul)											
Municípios	1979	1983	1988	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	Total
Barra do Pirai	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	2
Barra Mansa	-	-	-	1	-	-	-	1	1	-	3
Itatiaia	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Miguel Pereira	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Paraíba do Sul	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Paty do Alferes	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	2
Rio das Flores	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
Três Rios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
<b>Total</b>	-	-	-	1	2	1	2	3	2	1	12

**Tabela 2:** Discriminação do total de desastres por ano para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre 2000 e 2012. Fonte: Adaptado de COPPETEC (2014).

RH-III (Médio Paraíba do Sul)														
Municípios	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Barra do Pirai	1	1	-	1	-	-	1	1	1	1	1	1	-	9
Barra Mansa	1	-	-	-	2	-	2	1	-	1	4	2	-	13
C. Levy Gasparian	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	-	-	-	4
Itatiaia	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2
Miguel Pereira	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	1	4
Paraíba do Sul	1	-	-	1	-	-	-	-	1	2	3	-	-	8
Paty do Alferes	-	-	-	2	-	1	-	1	-	3	1	2	3	13
Pinheiral	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Porto Real	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2
Quatis	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1	-	-	3
Resende	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-	-	4
Rio das Flores	-	-	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3
Três Rios	1	-	-	-	1	-	-	1	1	2	-	1	1	8
Valença	-	-	-	1	-	-	-	1	2	1	2	-	-	7
Volta Redonda	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	3
<b>Total</b>	7	1	-	9	4	2	6	6	9	12	14	9	5	84

No Anexo I desta pesquisa estão discriminadas de forma detalhada as informações por município dos tipos de desastres e o número de ocorrências, informações estas que também foram extraídas de COPPETEC (2014), além do número de pessoas afetadas e se houve a declaração de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública.

De acordo com o Anexo I, o município de Barra Mansa foi o que apresentou o maior número de pessoas desalojadas, desabrigadas ou deslocadas, mostrando que este é o município mais vulnerável às consequências de desastres naturais para a população. De acordo com os tipos de desastres, as inundações foram as que apresentaram maior incidência na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, totalizando 37 eventos no período de 2000 a 2012.

Dentre os municípios que apresentaram maior incidência desses eventos, estão: Barra Mansa e Paraíba do Sul, com um total de 6 eventos em cada município. Sobre a análise dos eventos nos quais foram decretadas Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública, nota-se que do total de 37 eventos de inundações, 12 deles foram decretados Situação de Emergência e 1 chegou ao Estado de Calamidade Pública, estágio esse considerado como impossível de ser controlado pelo governo local, fazendo com que seja necessária uma intervenção federal.

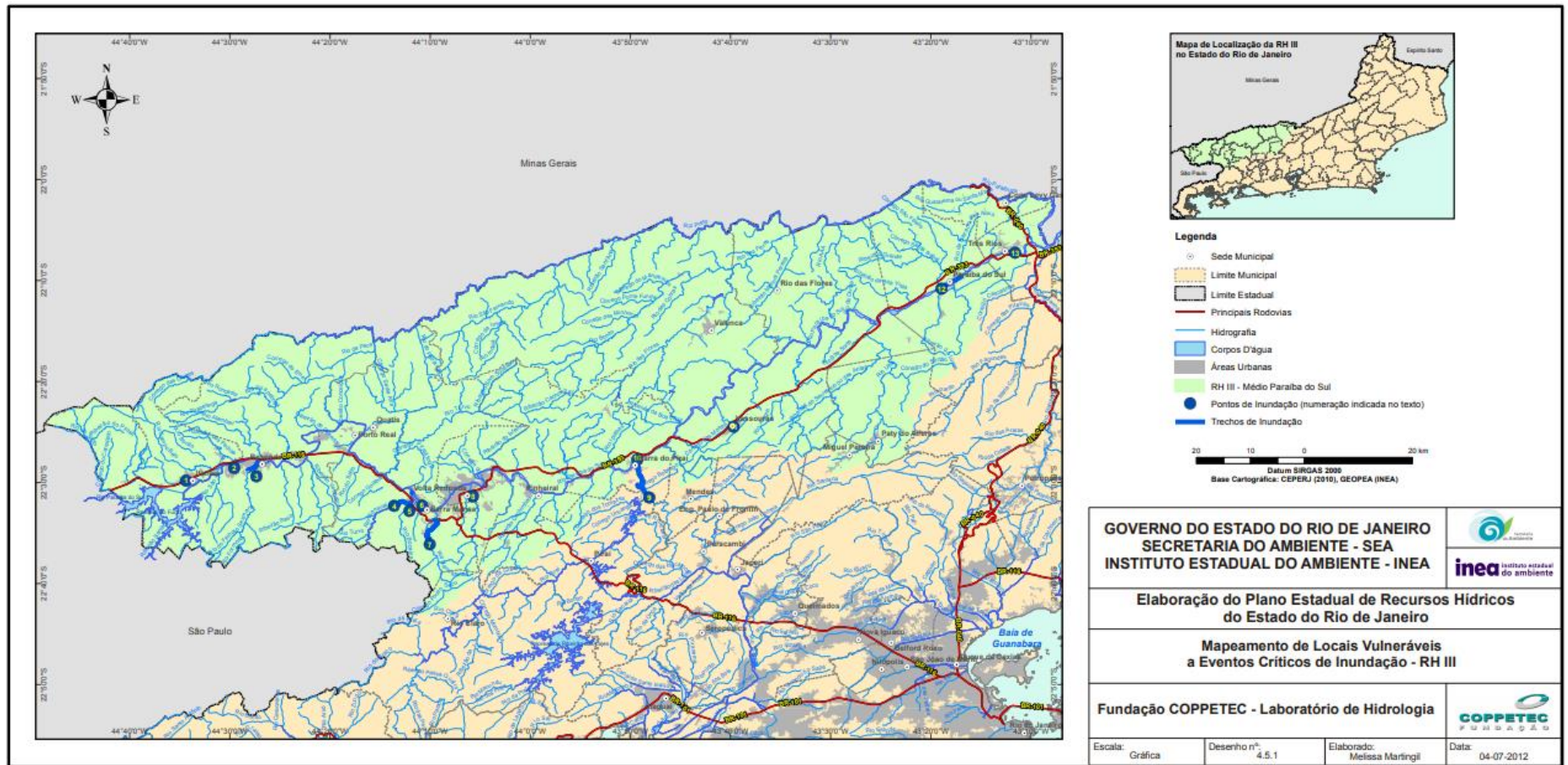
No Anexo II desta pesquisa estão descritos também os pontos relevantes e que estão relacionados com a ocorrência de inundações em cada sub-bacia que compõem a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, baseado em informações extraídas de COPPETEC (2014). Assim, conforme a análise das sub-bacias no Anexo II, entende-se que a ocorrência desses eventos está associada a dois principais fatores: ocupação irregular das margens dos rios e efeito de remanso das águas.

Para corroborar a informação apresentada neste capítulo, a Figura 4 apresenta um mapa que mostra todos os 13 pontos vulneráveis à ocorrência de inundações na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. É possível observar que todos os pontos sinalizados estão próximos dos centros urbanos que se desenvolveram ao longo dos anos próximos do curso do rio Paraíba do Sul. Dentre eles, as regiões de maior vulnerabilidade estão entre os municípios de Barra Mansa e Volta Redonda, com um total de cinco pontos identificados, sendo estes também os que possuem maior concentração populacional, segundo IBGE CIDADES (2021).

## **2.2 Sistema de Alerta de Cheias**

O Sistema de Alerta de Cheias teve início em outubro de 2007 com a instalação de 10 estações telemétricas na região da Baixada Fluminense, no Estado do Rio de Janeiro e, posteriormente, foi sendo expandido para demais regiões. A iniciativa de criá-lo surgiu da preocupação do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) com os frequentes problemas ocasionados pelas inundações em diversas regiões do Estado do Rio de Janeiro, acarretando perdas humanas e materiais. Assim, foi decidido pelo INEA, em parceria com as Defesas Cívicas Municipais e Estadual, juntamente com o apoio financeiro do Fundo Especial de Controle Ambiental (FECAM) e de entidades que operam rede de estações hidrometeorológicas no Estado (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM e Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro - GEORIO), que fosse implantado e operado um Sistema de Alerta de Cheias para áreas sujeitas à inundações no Estado (VIANA; FARIAS JÚNIOR; OLIVEIRA, 2009).





**Figura 4:** Pontos suscetíveis à ocorrência de inundações na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Fonte: COPPETEC (2014).

Conforme Alerta de Cheias (2020), este sistema foi criado com a finalidade de comunicar às autoridades e a população sobre a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas e inundações graduais que possam gerar perdas humanas e materiais. Para que esse objetivo seja alcançado, o Sistema de Alerta de Cheias é operado por uma equipe de profissionais que acompanham as condições meteorológicas de modo ininterrupto para que sejam detectadas possíveis situações de avisos, transmitindo às autoridades competentes (VIANA; FARIAS JÚNIOR; OLIVEIRA, 2009). O Sistema de Alerta de Cheias também conta com uma rede de monitoramento de estações telemétricas que transmitem dados de chuva e níveis dos rios. Em um cenário de possibilidade de transbordamento dos rios para as regiões monitoradas, os avisos são enviados para as autoridades e para a população. Esses avisos são baseados no Protocolo Operacional, que possui 5 estágios, conforme pode ser observado na Tabela 3 (ALERTA DE CHEIAS, 2020).

**Tabela 3:** Definição dos estágios pertencentes ao Protocolo Operacional do Sistema de Alerta de Cheias. Fonte: Alerta de Cheias (2020).

<b>Estágio</b>	<b>Situação</b>
<b>Vigilância</b>	Sem previsão de chuva significativa que possa causar elevação dos níveis dos rios.
<b>Atenção</b>	Possível elevação dos níveis dos rios em função da ocorrência de chuva.
<b>Alerta</b>	Subida acima do normal do nível de um rio monitorado, com previsão de elevação.
<b>Alerta máximo</b>	Iminência de transbordo de um rio monitorado, com previsão de elevação.
<b>Transbordamento</b>	Registro do nível de um rio monitorado acima da cota de transbordamento.

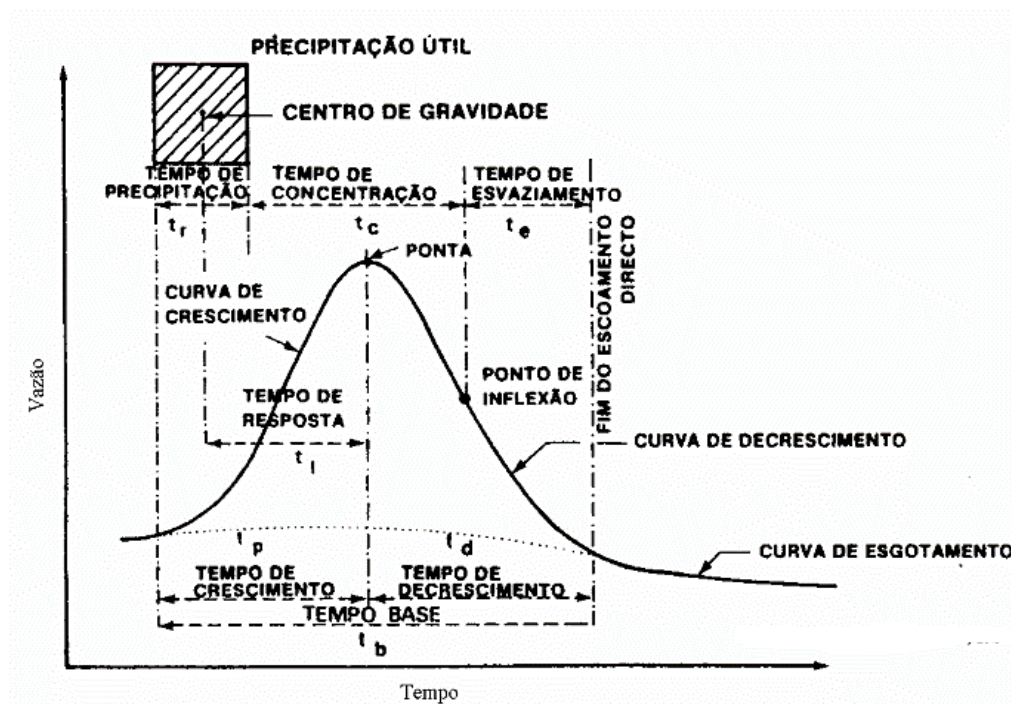
Em 2015, o Sistema de Alerta de Cheias também passou a contar com a operação de dois radares meteorológicos que foram custeados com financiamento do Banco Mundial, com a finalidade de promover o monitoramento das chuvas sobre as bacias hidrográficas que compõem o Estado do Rio de Janeiro.

Uma das formas de analisar os eventos nos quais foram utilizados os estágios do

Protocolo Operacional apresentados acima faz-se através da identificação das variáveis hidrológicas, podendo serem obtidas através do método empírico ou estimadas pelo método gráfico, sendo este último utilizado em casos de ausência de variáveis fisiográficas dos rios.

Sobre o método gráfico, a Figura 5 ilustra como estimar variáveis hidrológicas, inclusive as que o Sistema de Alerta de Cheias utiliza para a avaliação hidrológica dos eventos, sendo estas: Tempo de Resposta (TR), Tempo de Concentração (TC), Precipitação Útil (PU) e Tempo de Precipitação Útil (TPU).

Segundo Tucci (2013), a variável Tempo de Resposta (TR) ou Tempo de Pico (TP), pode ser definida como o intervalo entre o centro de massa da precipitação local ou na bacia de contribuição e o valor máximo alcançado pelo nível do rio. Já o Tempo de Concentração (TC), é o tempo na qual a água precipitada leva para percorrer do ponto mais distante da bacia até o ponto de interesse. Além disso, o valor entre o início da precipitação e o momento em que ocorre o transbordamento é denominado Tempo de Precipitação Útil (TPU).



**Figura 5:** Modelo de hidrograma para cálculo de variáveis hidrológicas. Fonte: Farias Júnior e Botelho (2011).

Com relação à magnitude e à frequência das inundações, Amaral e Ribeiro (2009) explicam que ambas dependem da intensidade e distribuição da precipitação, além de fatores como taxa de infiltração de água no solo, grau de saturação do solo e características morfométricas e morfológicas de uma bacia de drenagem. No entanto, é de conhecimento que uma mesma quantidade de chuva pode gerar danos humanos, materiais e ambientais de modo diferente, se comparado ao fator vulnerabilidade de cada região e não somente ao fator

magnitude do evento (PARIZZI, 2014). Ainda com relação à quantidade de chuva, Alerta de Cheias (2020) adota os quatro seguintes critérios quanto à intensidade da chuva, baseado nos critérios da OMM (Organização Meteorológica Mundial):

- Fraca: Precipitação com intensidade até 5,0 mm/h;
- Moderada: Precipitação com intervalo de intensidade de 5,1 até 25,0 mm/h;
- Forte: Precipitação com intervalo de intensidade de 25,1 até 50,0 mm/h;
- Muito Forte: Precipitação com intensidade superior a 50,0 mm/h.

### **2.3 Climatologia de Precipitação no Estado do Rio de Janeiro**

Silva e Dereczynski (2014), citam que a investigação climatológica referente a uma determinada região é de grande importância para o entendimento das características atmosféricas médias, podendo ser aplicado a diversos setores, como: agricultura, saúde, planejamento urbano, defesa civil, gerenciamento de recursos hídricos entre outros. Impactos ambientais podem ser provocados pelas variações climáticas, sejam elas naturais ou antrópicas, acarretando em consequências como: elevação ou redução no nível médio do mar; aumento ou redução na frequência de ocorrência e na intensidade de chuvas severas, secas, ondas de calor e de frio e também na configuração dos sistemas meteorológicos transientes, como por exemplo: frentes, ciclones tropicais, ciclones extratropicais, entre outros.

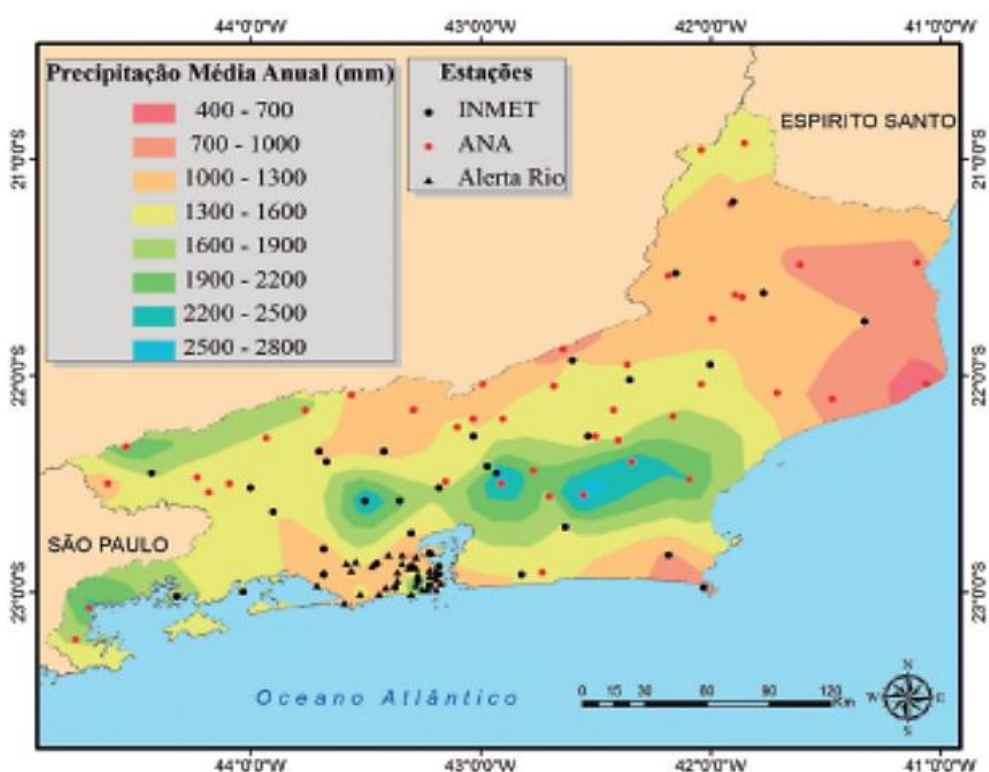
A maioria dos desastres naturais no Brasil (acima de 80%), está associada às instabilidades atmosféricas severas, sendo estas responsáveis pelo desencadeamento de eventos como: inundações, vendavais, tornados, granizos e escorregamentos. Com exceção das inundações graduais, as inundações bruscas tratam-se de fenômenos de rápido desenvolvimento, responsáveis por grande número de óbitos e destruição (MARCELINO, 2008).

Para Seluchi, Beu e Andrade (2016), mais de 95% das mortes decorrentes de desastres naturais são em países em desenvolvimento, devido principalmente ao maior número de pessoas expostas. Os países que possuem clima tropical, principalmente com topografia complexa, somados à alta frequência de chuvas intensas e de caráter convectivo, apresentam uma exposição ainda maior à ocorrência dos desastres naturais.

A região Sudeste do Brasil, por exemplo, é caracterizada por um clima diversificado, devido aos seguintes aspectos: topografia, posição geográfica e aspectos dinâmicos da atmosfera, que incluem os sistemas meteorológicos de micro, meso e grande escala e que

influenciam de forma direta ou indireta no regime pluviométrico, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e as Frentes Frias (MINUZZI et al., 2007).

Em uma pesquisa climatológica sobre as variáveis temperatura e precipitação no período de 1961-2012, Silva e Dereczynski (2014), concluíram alguns aspectos importantes sobre a RH-III e demais regiões do estado do Rio de Janeiro. No âmbito na precipitação, a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul possui um volume pluviométrico anual que varia de 1000 mm a 2200 mm, conforme mostra a Figura 6. Além disso, o verão é o período com maior índice pluviométrico, variando entre 450 mm e 1050 mm, devido à configuração da ZCAS e da convecção local. No inverno, o volume de chuvas é bastante reduzido, porém associado a passagens dos sistemas frontais, com total pluviométrico de até 150 mm. Já para as estações de transição, a primavera apresenta totais pluviométricos de até 750 mm, pouco acima do outono com até 600 mm.



**Figura 6:** Precipitação Média Anual para o estado do Rio de Janeiro. Fonte: Silva e Dereczynski (2014).

Segundo Seluchi, Beu e Andrade (2016), o fato do Estado do Rio de Janeiro apresentar grande cenário de vulnerabilidade, decorre do alto número de pessoas expostas, assim como a influência das características topográficas e climáticas. As precipitações, que frequentemente são de tipo convectivo, podem estar associadas ao padrão de convecção monçônica durante o

verão, mas também pode ocorrer devido à atuação de sistemas como Frentes Frias e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Para Carvalho e Jones (2009), o regime chuvoso no Brasil se inicia com a atividade convectiva por volta de agosto no oeste da bacia Amazônica e, posteriormente, migra para a região sudeste nos meses subsequentes. O início da estação chuvosa ocorre em média na segunda quinzena de outubro para boa parte das regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. As chuvas mais frequentes e mais intensas ocorrem entre dezembro e fevereiro nesta região. Já em meados de março e começo de abril, é visto um enfraquecimento da atividade convectiva profunda sobre a região tropical.

Ainda de acordo com Carvalho e Jones (2009), a Zona de Convergência do Atlântico Sul pode ser definida como uma banda de nebulosidade de orientação noroeste-sudeste, associado a um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera, que se estende da Amazônia até a região Sudeste do Brasil e, frequentemente, sobre a região oceânica do Atlântico Subtropical. Esse sistema acompanha o ciclo anual da precipitação, podendo ser considerado como uma das características mais marcantes do clima tropical na América do Sul durante o verão. Cunningham e De Albuquerque (2006) ainda completam que ZCAS ocorrem quando sistemas frontais atingem regiões tropicais/subtropicais da América do Sul e acabam interagindo com a convecção tropical. Porém, a ZCAS pode apresentar alguns parâmetros diferentes no seu estabelecimento, sendo nomeado nestes casos de ZCOU (Zona de Convergência de Umidade), conforme cita Pallotta e Nakasato (2010). Esse conceito foi introduzido à comunidade meteorológica pelo Grupo de Previsão de Tempo do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (GPT-INPE), de modo a auxiliar na diferenciação dos sistemas em casos de suas configurações. Quanto à diferenciação temporal, de modo geral, considera-se que a ZCOU apresenta duração de até 3 dias. Para sistemas com mais de 3 dias, pode-se considerar a configuração de uma ZCAS. No entanto, fora do âmbito temporal, é importante avaliar os padrões de escoamento na atmosfera. O deslocamento de cavados em níveis médio entre o norte e nordeste da Argentina, o Paraguai, o Mato Grosso do Sul e a região sul do Brasil, interrompe o padrão de nebulosidade persistente da ZCAS, desfavorecendo o escoamento em baixos níveis, associado ao Jato de Baixos Níveis (JBN), que possui orientação clássica de NO-SE em configurações de episódios de ZCAS.

Já com relação a passagem de Frentes Frias, Escobar (2007), cita que as regiões Sul e Sudeste sofrem com a incursão das massas de ar frias associadas a passagem de sistemas frontais que, por vezes, tendem a persistir por vários dias consecutivos, gerando as ondas de

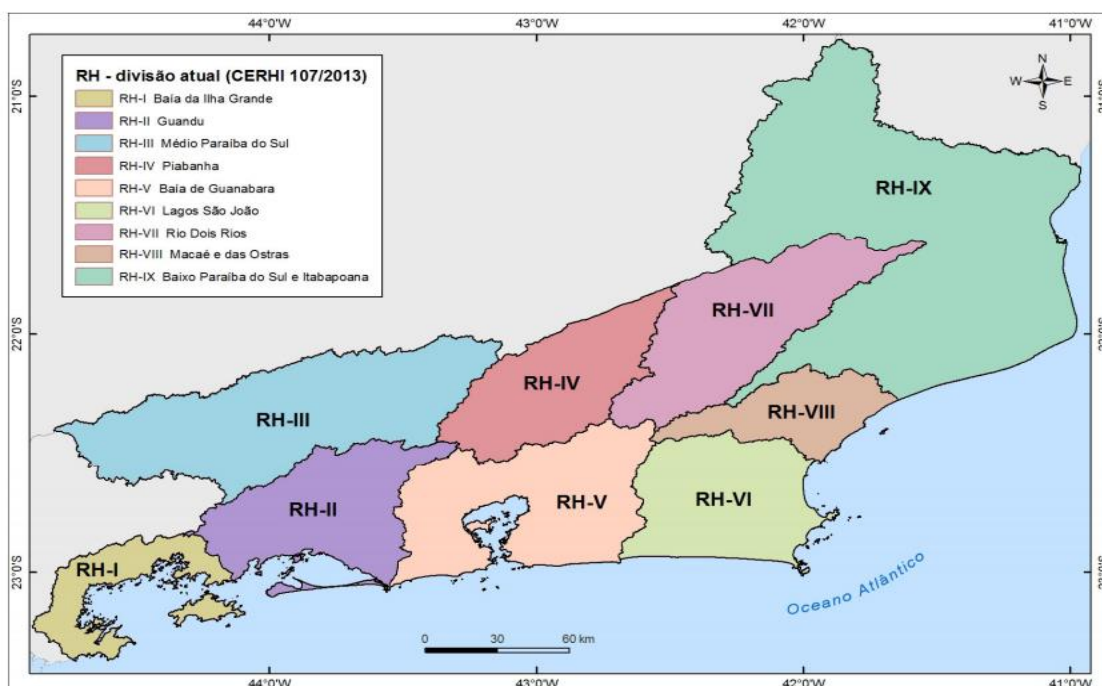
frio que causam impacto social, podendo gerar prejuízos também no setor agrícola, por exemplo.

De acordo com Cavalcanti e Kousky (2009), a passagem de Frentes Frias sobre as regiões sul e sudeste são mais frequentes entre maio e setembro e menos frequentes durante o verão. No entanto, quando avançam para o norte durante o verão e interagem com o ar quente e úmido tropical, estas mesmas causam convecção profunda e organizada, com chuvas fortes sobre o continente que acarretam inundações, deslizamentos entre outros danos à sociedade. Durante o verão, as Frentes Frias se posicionam ao longo da costa brasileira, entre os estados de São Paulo e Bahia, região essa considerada de posição climatológica da ZCAS, gerando períodos prolongados de chuva forte que causam inundações e demais prejuízos sociais para as regiões envolvidas.

### 3. DADOS E METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

A área de interesse para essa pesquisa corresponde à Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, sendo esta definida com RH – III, conforme pode ser visto na Figura 7.



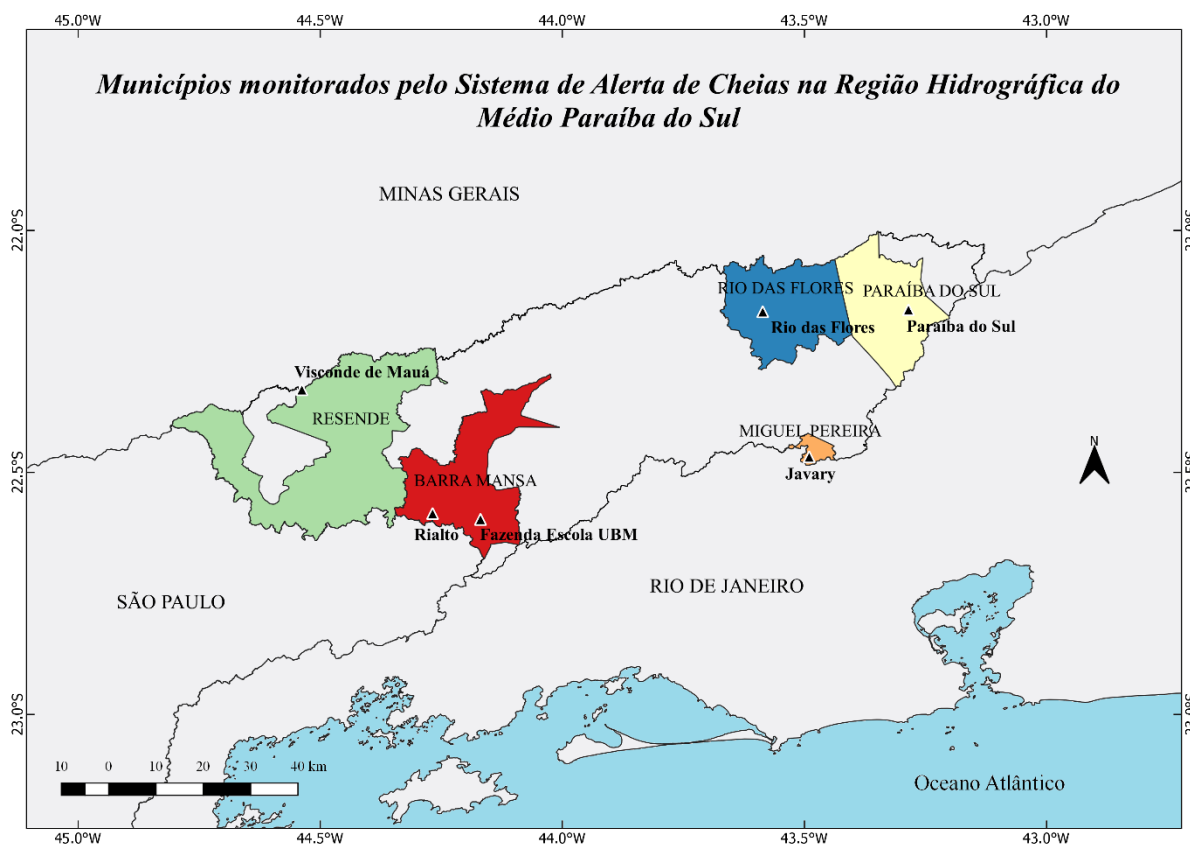
**Figura 7:** Divisão das Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: COPPETEC (2014).

A RH-III é uma das nove regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro, de acordo com o Comitê da Bacia da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – CBH – Médio

Paraíba do Sul, que foi instituído no dia 11 de setembro de 2008, por Decreto Estadual nº 41.475. Com sede no município de Volta Redonda (RJ), este órgão colegiado integra o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRHI, nos termos da Lei Estadual nº 3.239/1999 (CBH – MÉDIO PARAÍBA, 2020).

Ainda para o CBH – Médio Paraíba (2020), a região do Médio Paraíba do Sul abrange integralmente os municípios de Itatiaia, Resende, Porto Real, Quatis, Barra Mansa, Volta Redonda, Pinheiral, Valença, Rio das Flores e Comendador Levy Gasparian. Também abrange parcialmente os municípios de Rio Claro, Piraí, Barra do Piraí, Vassouras, Miguel Pereira, Paty do Alferes, Paraíba do Sul, Três Rios e Mendes.

No entanto, dentre todos os municípios que compõem a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, nem todos possuem monitoramento pelo Sistema de Alerta de Cheias. Os que possuem são os seguintes: Resende, Barra Mansa, Rio das Flores, Paraíba do Sul e Miguel Pereira, assim como pode ser observado na Figura 8.



**Figura 8:** Municípios monitorados pelo Sistema de Alerta de Cheias na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul - RJ. Fonte: Elaborado pela autora.

Sobre a disponibilidade de estações hidrometeorológicas que compõem a rede telemétrica para a região de estudo desta pesquisa, todas são pluviométricas e fluviométricas, ou seja, são registrados dados de chuva e nível de rio, respectivamente, conforme apresentado



na Tabela 4. Os rios monitorados para essa Região Hidrográfica são os seguintes: Preto (Resende), Bananal (Barra Mansa), Barra Mansa (Barra Mansa), Saco (Miguel Pereira), Ribeirão Manoel Pereira (Rio das Flores) e Paraíba do Sul (Paraíba do Sul).

**Tabela 4:** Estações que compõem a rede de monitoramento para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – RJ. Fonte: Elaborado pela autora com base em informações disponibilizadas pelo Sistema de Alerta de Cheias.

<b>Município monitorado</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio monitorado</b>	<b>Tipo*</b>
Resende	Visconde de Mauá	Preto	Plu/Flu
Barra Mansa	Rialto	Bananal	Plu/Flu
Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	Barra Mansa	Plu/Flu
Miguel Pereira	Javary	Saco	Plu/Flu
Rio das Flores	Rio das Flores	Ribeirão Manoel Pereira	Plu/Flu
Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Plu/Flu

\*Tipo: Pluviométrica (PLU) e Fluviométrica (FLU).

Na Tabela 5 estão descritas algumas características das estações hidrometeorológicas mencionadas na Tabela 4, sendo estas: os valores de cota de transbordo e especificações quanto à data de alteração da cota de transbordo e tipo de transmissão de dados. Todas as estações possuem cota de transbordo, exceto a estação Paraíba do Sul, por se tratar de uma estação conveniada. Isso significa que a estação Paraíba do Sul não pertence e não é administrada pelo Sistema de Alerta de Cheias. Esta mesma faz parte de rede de monitoramento através de um acordo de cooperação, mas é patrimônio da ANA (Agência Nacional de Águas), sendo operada pelo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Para esta estação, não é permitido emitir alertas, pois o Protocolo Operacional do Sistema de Alerta de Cheias não pode ser aplicado.

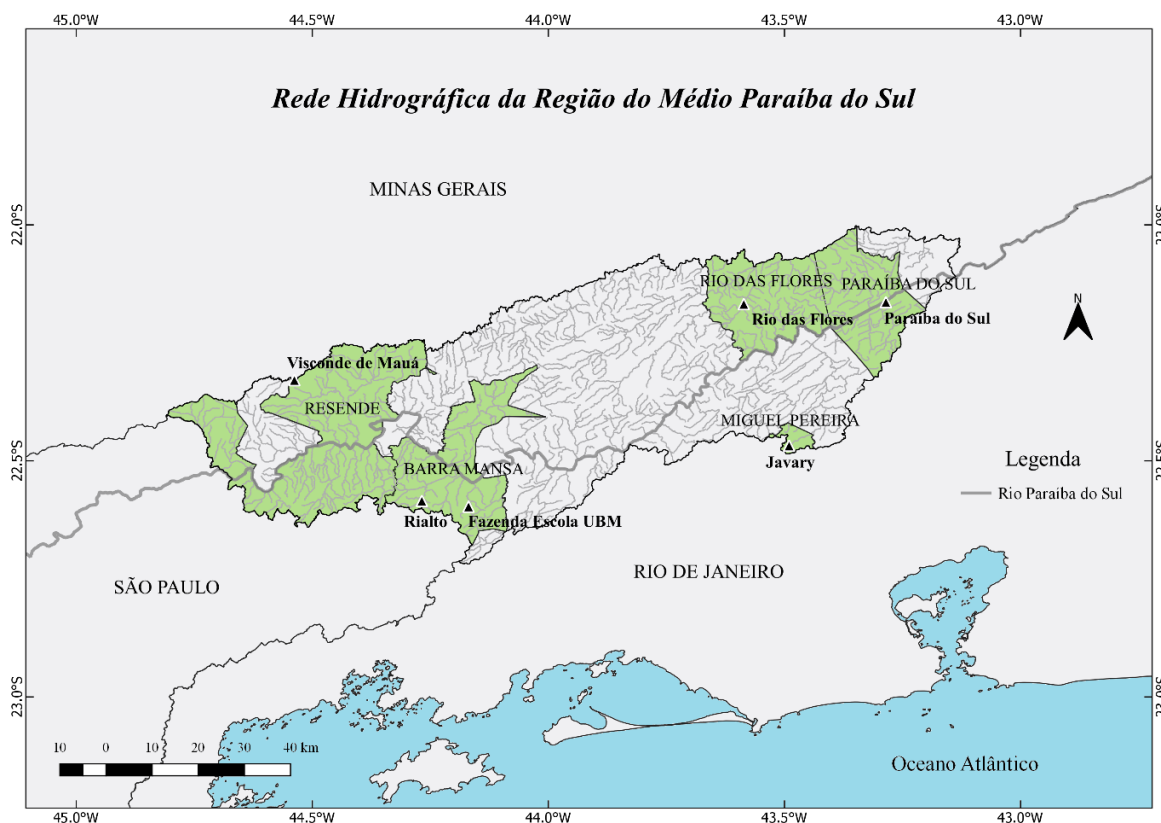
**Tabela 5:** Informações sobre as estações que compõem a rede de monitoramento da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – RJ. Fonte: Elaborado pela autora com base em informações disponibilizadas pelo Sistema de Alerta de Cheias.

<b>Estação</b>	<b>Cota de transbordo</b>	<b>Cota de transbordo alterada</b>	<b>Data de alteração</b>	<b>Tipo de transmissão</b>
Visconde de Mauá	2,75 m	-	-	GSM/GPRS
Rialto	6,70 m	-	-	GOES/NOAA
Fazenda Escola UBM	7,50 m	2,00 m	21/01/2016	GOES/NOAA
Javary	2,04 m	-	-	GSM/GPRS
Rio das Flores	3,55 m	-	-	GSM/GPRS
Paraíba do Sul	-	-	-	GOES/NOAA

Com relação à cota de transbordo dos rios, apenas para a estação de Fazenda Escola UBM (Barra Mansa) houve alteração de 7,5 m para 2 m. O novo valor entrou em vigor a partir do dia 21/01/2016, conforme pode ser verificado na Tabela 5.

No que diz respeito ao tipo de transmissão de dados, esta é feita pelo tipo GSM/GPRS (Global System for Mobile/General Packet Radio Service), sendo esta a mais comum ou GOES/NOAA (GOES 16 - Geostationary Operational Environmental Satellite/Administração Nacional Oceânica e Atmosférica), utilizada como alternativa em regiões onde o tipo GSM/GPRS não é possibilitada devido à falta de sinal, alternativa esta que faz com que a transmissão dos dados seja horária. Sendo assim, por vezes o operador de serviço não consegue cumprir a sequência de alertas do Protocolo Operacional do Sistema de Alerta de Cheias, fazendo com que alguns estágios não consigam ser cumpridos.

Na Figura 9, é apresentada a rede hidrográfica para a região de interesse desta pesquisa com os municípios monitorados pelo Sistema de Alerta de Cheias. Nela, é possível observar a contribuição espacial do rio Paraíba do Sul e dos demais rios. No Apêndice A desta pesquisa são apresentadas as malhas hidrográficas de cada município monitorado, construídas com informações extraídas do sítio do IBGE, além da localização de cada uma das estações do INEA pertencentes a estes mesmos municípios.



**Figura 9:** Rede hidrográfica da RH-III com os municípios monitorados pelo Sistema de Alerta de Cheias – RJ. Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com COPPETEC (2014), como aspecto mais relevante no que diz respeito aos recursos hídricos na RH-III, está o uso do Rio Paraíba do Sul para aproveitamento hidrelétrico e uso industrial, principalmente pelas usinas siderúrgicas de Barra Mansa e Volta Redonda. Além disso, o Rio Paraíba do Sul contribui de forma relevante para o abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, segundo INEA (2021).

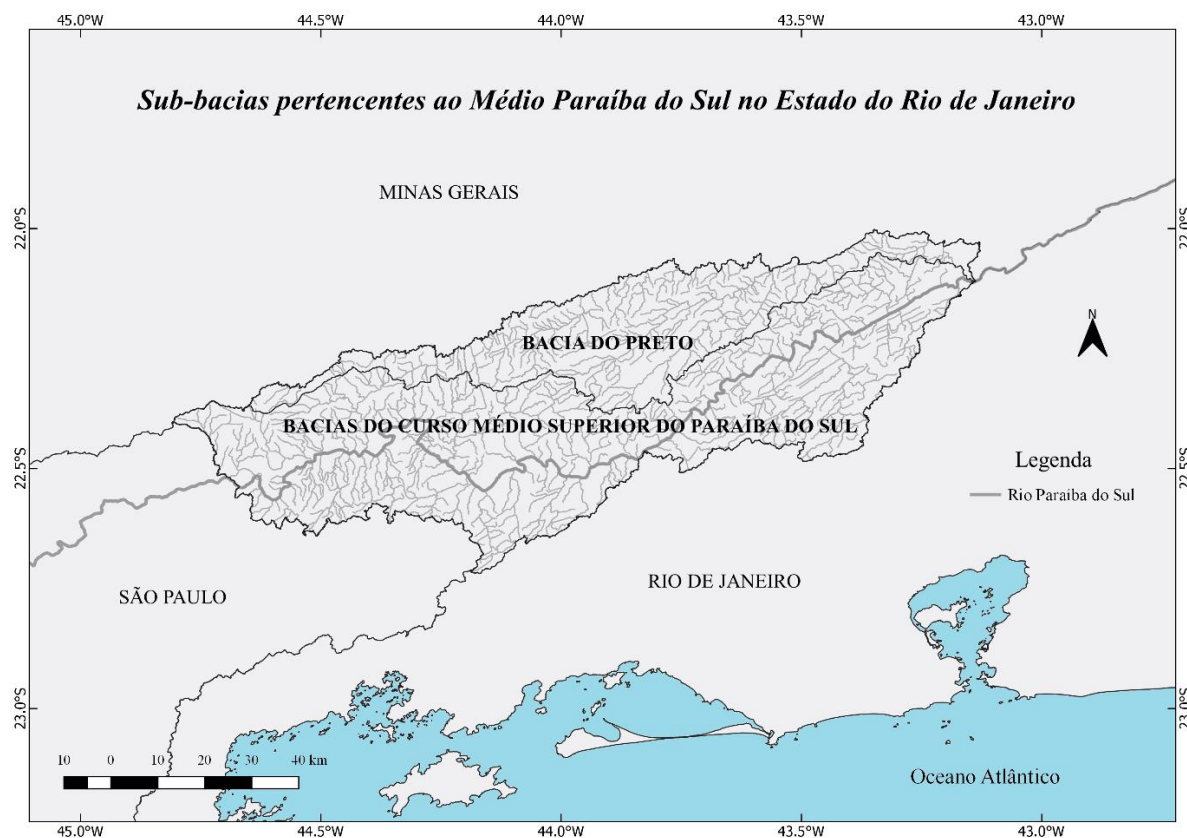
Com relação ao âmbito demográfico, a Tabela 6 apresenta a distribuição populacional dos municípios pertencentes à RH-III. Observa-se que a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul apresenta 1.085.235 habitantes, sendo os municípios mais populosos: Volta Redonda, Barra Mansa e Resende, que compreendem 23,8%, 16,4% e 11% da população total, respectivamente. Ainda de acordo com a Tabela 6, a respeito da distribuição territorial, Valença e Resende se destacam com 1.300,767 km<sup>2</sup> e 1.099,336 km<sup>2</sup>, respectivamente, sendo estes os municípios com maior área territorial da região.

**Tabela 6:** Levantamento demográfico dos municípios que compõem a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Fonte: IBGE CIDADES (2020).

<b>Município</b>	<b>População (2010)</b>	<b>Percentual Populacional (%)</b>	<b>Densidade demográfica (hab./km<sup>2</sup>) (2010)</b>	<b>Área da unidade territorial (km<sup>2</sup>) (2018)</b>
Barra do Piraí	94.778	8,7	163,70	584,610
Barra Mansa	177.813	16,4	324,94	547,133
Comendador Levy Gasparian	8.180	0,8	76,53	108,639
Itatiaia	28.783	2,7	117,41	241,035
Mendes	17.935	1,7	184,83	95,324
Miguel Pereira	24.642	2,3	85,21	287,933
Paraíba do Sul	41.084	3,8	70,77	571,118
Paty do Alferes	26.359	2,4	82,68	314,341
Pinheiral	22.719	2,1	296,86	82,254
Piraí	26.314	2,4	52,07	490,255
Porto Real	16.592	1,5	326,95	50,892
Quatis	12.793	1,2	44,72	284,826
Resende	119.769	11	109,35	1.099,336
Rio Claro	17.425	1,6	20,81	846,797
Rio das Flores	8.561	0,8	17,90	478,783
Três Rios	77.432	7,1	237,42	322,843
Valença	71.843	6,6	55,06	1.300,767
Vassouras	34.410	3,2	63,4	535,638
Volta Redonda	257.803	23,8	1.412,75	182,105
<b>População Total</b>	<b>1.085.235</b>			

De acordo com COPPETEC (2014), a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul tem como característica o bioma Mata Atlântica e não possui em nenhum de seus pontos a influência do sistema costeiro-marinho. Também é uma região dividida em duas sub-bacias, conhecida como Bacia do Preto e as Bacias do Curso Médio Superior do Paraíba do Sul, conforme ilustra a Figura 10.

Ainda segundo COPPETEC (2014) acerca da distribuição do relevo da região, as serras estão concentradas na região do Maciço de Itatiaia, conhecido como o ponto mais alto da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, chegando a apresentar altitudes que variam de 1.000 a 2.800 m, sendo este o trecho mais elevado da Serra da Mantiqueira. Já para a classificação do relevo, a região é constituída por colinas (54%) e morros (26%), com vastas áreas desflorestadas e uma expressiva ocorrência de processos erosivos do tipo voçorocas e ravinas, que contribuem para o assoreamento de rios da região, assim como para a redução das vazões no período seco, por conta da redução de infiltração de água no solo. Além do mais, extensas áreas de serras escarpadas, com altitude de 1.500 a 2.000 m, estão relacionadas com as cabeceiras dos rios que nascem em São Paulo e deságuam na margem direita do trecho fluminense do rio Paraíba do Sul nos municípios de Itatiaia, Resende e Barra Mansa, afetando os rios dessas regiões que deságuam no reservatório de Funil.



**Figura 10:** Divisão de sub-bacias pertencentes à Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – RJ. Fonte: Elaborado pela autora.

A respeito da ocupação humana nos centros urbanos, a região do Médio Paraíba do Sul vem sofrendo cada vez mais com a ocupação irregular às margens do rio Paraíba do Sul e de seus afluentes, favorecendo também o lançamento de esgoto sem tratamento em diversos pontos (COPPETEC, 2014). Conforme explica Tucci (2001), a falta de saneamento adequado para o bom desenvolvimento urbano pode acarretar, por exemplo, na contaminação da população ribeirinha por leptospirose, cólera, hepatite, entre outras doenças, em situações nas quais ocorram inundações.

A Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul também apresenta importante papel econômico sobre o Estado, sendo a quarta região hidrográfica mais industrializada do Estado do Rio de Janeiro, com destaque para o município de Volta Redonda que é o 7º mais industrializado do Estado. Além disso, mais de 50% do PIB dessa região hidrográfica é composta por produção industrial (IBGE, 2021). Os setores siderúrgico, metalomecânico e automotivo são os que apresentam maior relevância. No entanto, as indústrias dos setores cimenteiro, alimentício e energético, assim como a atividade voltada para agropecuária, produção de hortifrutigranjeiros e o comércio varejista, também estão entre as principais atividades econômicas desta região hidrográfica INEA (2021). Por isso é importante que a ocupação do espaço urbano seja feita com infraestrutura para que as atividades econômicas não sejam interrompidas por consequência dos eventos de inundação (TUCCI, 2001).

### **3.2 Dados**

A base de dados utilizada para a análise dos cotagramas e dos avisos emitidos foi disponibilizada pelo Sistema de Alerta de Cheias. Foram utilizados dados de precipitação (mm) e cota (m), com intervalo de 15 min para as estações hidrometeorológicas descritas na Tabela 4, no período de maio de 2014 a abril de 2020. Também foram utilizadas as séries históricas de avisos emitidos pelo Sistema de Alerta de Cheias para o mesmo período citado anteriormente. É importante ressaltar que a escolha para o início do período de interesse desta pesquisa corresponde aos primeiros registros de avisos disponíveis para acesso da RH-III.

Para a análise climatológica de precipitação, foram utilizados dados das instituições ANA e INMET, considerando como período inicial o mês de janeiro de 1986 e como período final o mês de dezembro de 2019. Estes mesmos foram disponibilizados pelas instituições com intervalo de dados de acumulados mensais. No Apêndice B deste trabalho, é possível verificar quais estações foram consideradas. Também foi utilizada como base climatológica, as normais

climatológicas disponibilizadas pelo INMET, sendo estas: Avelar (Paty do Alferes), Resende (Resende) e Santa Mônica (Valença).

Para a análise dos sistemas meteorológicos, foram consideradas como base para a verificação as cartas sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) e do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Foram consideradas também as análises dos Boletins Técnicos do CPTEC e os Boletins Hidrometeorológicos do Sistema de Alerta de Cheias.

### 3.3 Metodologia

A metodologia utilizada nesta pesquisa possui quatro subdivisões nas quais envolvem este estudo de caso para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, sendo estas: Histórico de avisos, Sistemas Meteorológicos, Variáveis Hidrológicas e Climatologia de Precipitação, com o intuito de atribuir respostas para os questionamentos propostos em cada uma das subdivisões apresentadas no fluxograma, conforme pode ser observado na Figura 11.

Inicialmente foi feito o levantamento de todos os avisos emitidos para as estações pertencentes ao Sistema de Alerta de Cheias na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul.



**Figura 11:** Fluxograma referente às subdivisões que compõem a metodologia para este estudo de caso.

É importante ressaltar alguns critérios que foram observados quanto as considerações de envio, sendo estes: o estágio de Atenção é emitido com base em *nowcasting* feito através da análise das imagens dos radares meteorológicos, tendo como referência a possibilidade da ocorrência de chuva que possa gerar um evento de inundação para os rios monitorados de um município; o estágio de Alerta é emitido quando efetivamente houve o registro pela estação hidrometeorológica de uma elevação anormal no nível do rio, que pode ter sido causado por chuva local ou na bacia de contribuição; já para o estágio de Alerta Máximo, a elevação do nível do rio é considerada significativa, com valor registrado pela estação hidrometeorológica sendo igual ou superior a cota definida previamente pela Defesa Civil municipal e pela equipe do Sistema de Alerta de Cheias. Esse valor de cota costuma ser de 80% da capacidade do rio, mas há exceções de rios que podem apresentar a cota de envio de Alerta Máximo com valor superior a 90%. E por fim, o estágio de Transbordamento, que só é emitido quando houver o registro pela estação hidrometeorológica do efetivo transbordo do rio, com base na cota de transbordo do rio, ou quando um agente da Defesa Civil confirmar o transbordamento no mesmo local da estação hidrometeorológica que possa não estar transmitindo os dados devido a falha na transmissão ou por conta de avarias com os sensores. É importante ressaltar que o estágio de Atenção é emitido a nível municipal, ou seja, todos os rios que são monitorados em um município entram em estágio de Atenção quanto esse tipo de alerta é emitido. No entanto, os estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento são emitidos especificamente para os rios que apresentarem elevações em seus níveis. Além disso, todos os estágios possuem tempo de duração máximo de 12 horas. No entanto, costumam ser registrados diversos desdobramentos de outros estágios dentro deste período. Também foi levado em consideração que nem todos os eventos seguem a evolução proposta pelo Protocolo Operacional, visto que a dinâmica dos rios varia de evento para evento e, possivelmente, alguns estágios possam ser omitidos, além de problemas que possam envolver a transmissão de dados das estações.

Com o intuito de fazer uma avaliação mais criteriosa dos processos nos quais envolveram os avisos, foi realizada uma análise individual evento a evento, seguindo ou não a ordem do Protocolo Operacional (Tabela 3), com exceção das etapas de Vigilância e Atenção que dependem da interpretação do analista, o que pressupõe um alto grau de subjetividade.

Além disso, a consideração de um evento para este estudo de caso foi definida como uma situação que remete a necessidade de envio de avisos mediante a possibilidade de ocorrência de inundações por conta de chuva local ou na bacia de contribuição. Assim, um evento tem início a partir do primeiro aviso emitido, podendo ser um estágio de Atenção, Alerta,

Alerta Máximo ou Transbordamento. Também foi considerado o fim do evento a partir do envio do estágio de Vigilância. Com isso, entende-se que o nível do rio retornou para seu estágio de normalidade ou que não apresenta mais riscos para novas elevações nos níveis dos rios monitorados. É importante ressaltar que os eventos foram distintos por município e que foi possível observar mais de um rio monitorado apresentando elevações em seus níveis em alguns eventos, como é o caso do município de Barra Mansa que possui dois rios monitorados (rios Barra Mansa e Bananal).

Na Tabela 7 é possível observar dois exemplos de eventos identificados. Nota-se que no dia 15/02/2016, o estágio que deu início ao evento foi o de Alerta. Posteriormente, o evento foi encerrado com a emissão do estágio de Vigilância. Já para os dias 17 e 18/02/2016, o evento teve início com o estágio de Atenção, evoluindo posteriormente para os estágios de Alerta e Transbordamento. Esse evento se estendeu até o dia 18/02/2016, quando o nível do rio em transbordamento, retornou para o estágio de Alerta, pois ainda se encontrava elevado ou com risco para novas elevações. Posteriormente, o evento foi encerrado com o envio do estágio de Vigilância.

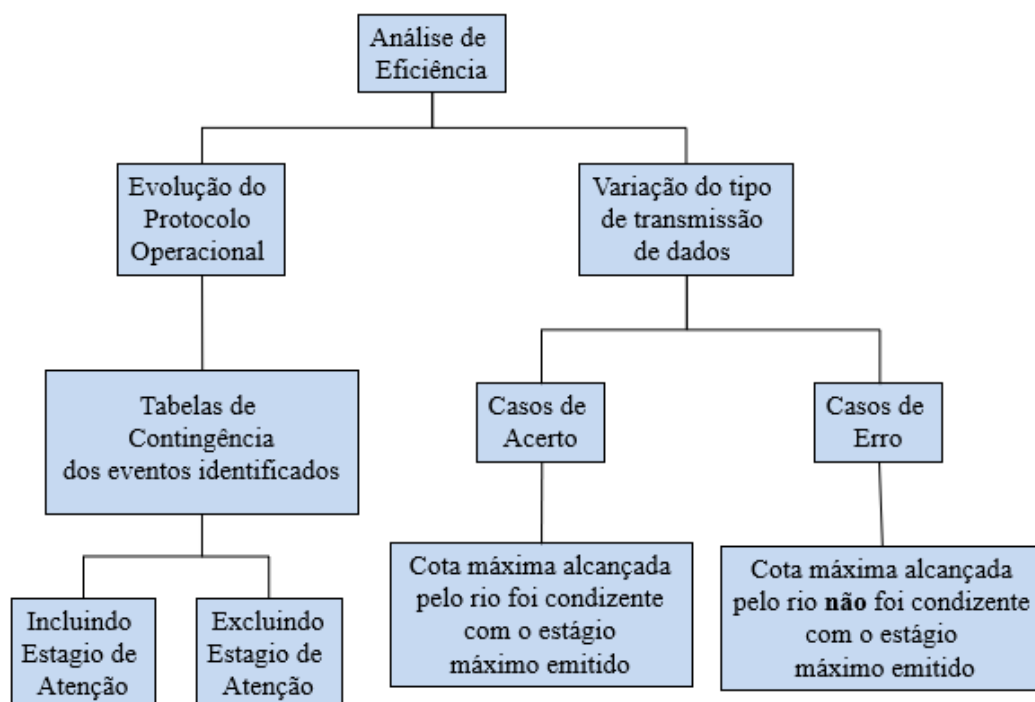
**Tabela 7:** Exemplos de eventos considerados nesta pesquisa.

Dia	MUNICIPIOS	ESTAÇÃO	ATENÇÃO	ALERTA	ALERTA MÁXIMO	TRANSBORDAMENTO	VIGILÂNCIA
15/02/2016	Barra Mansa	Fazenda escola UBM		x			x
17/02/2016	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	x	x		x	
18/02/2016	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM		x			x

Sobre a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias, esta mesma foi avaliada mediante a emissão dos avisos em relação à evolução do Protocolo Operacional e em relação à variação do tipo de transmissão de dados (GSM/GPRS e GOES/NOAA). A metodologia usada segue os passos representados no fluxograma (Figura 12).

Para realizar o cálculo da eficiência do sistema com relação à evolução do Protocolo Operacional, foram elaboradas tabelas de contingência, conforme o modelo apresentado na Tabela 8, considerando todos os eventos identificados. Foram criadas duas tabelas de contingência: na primeira, considerou-se todos os eventos; na segunda, somente os que evoluíram para os estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento, desconsiderando os eventos nos quais só foram emitidos os estágios de Atenção. Esses eventos estão apresentados na Apêndice C desta pesquisa. Neste processo, o intuito é mostrar o quanto o sistema é eficiente no que diz respeito à evolução dos estágios do Protocolo Operacional.





**Figura 12:** Fluxograma das etapas realizadas para o cálculo da eficiência.

Para o cálculo da eficiência em relação à variação do tipo de transmissão de dados (GSM/GPRS e GOES/NOAA) foram criados dois critérios: casos de acerto e casos de erro. Nos casos de acertos, considerou-se que a cota máxima alcançada pelo rio em um evento foi condizente com o estágio máximo emitido. Já para os casos de erro, considerou-se que o estágio máximo emitido em um evento não correspondeu à cota máxima alcançada pelo rio. Assim, foram construídos cotagramas para cada evento que evoluiu para os estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento, utilizando dados de precipitação (mm), cota (m), cota de envio de Alerta Máximo e os valores das cotas de transbordo disponibilizados pelo Sistema de Alerta de Cheias. Esses cotagramas se encontram nos Apêndices D e E desta dissertação. Neste processo, o objetivo é identificar se os tipos de transmissão de dados (GSM/GPRS e GOES/NOAA), influenciam a eficiência do sistema mediante a aplicação dos avisos durante os eventos nos quais ocorreram elevações nos níveis dos rios monitorados.

**Tabela 8:** Esquema de tabela de contingência. Fonte: Adaptado de Wilks (2011).

		Observado		
		ALERTA	NÃO ALERTA	
Previsto	ALERTA	a	b	Subestimado
	NÃO ALERTA	c	d	Superestimado

Para a primeira análise, conforme pode ser observado na Tabela 8, a variável **a** corresponde aos eventos nos quais foram emitidos os avisos do tipo Atenção e que evoluíram para demais avisos do Protocolo Operacional; a variável **b** corresponde aos eventos nos quais os avisos do tipo Atenção foram emitidos e não evoluíram para demais avisos ou para eventos em que houve erro na emissão dos avisos, associados à dados espúrios de nível registrados pela estação; a variável **c** corresponde aos eventos nos quais não foram emitidos avisos do tipo Atenção, mas foram emitidos os avisos do tipo Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento; a variável **d** foi desconsiderada da análise por não apresentar critérios que se encaixem em uma situação de NÃO ALERTA X NÃO ALERTA.

Para a segunda análise, conforme pode ser observado na Tabela 8, a variável **a** corresponde aos eventos nos quais o estágio máximo emitido é proporcional ao nível máximo alcançado pelo rio. A variável **b** corresponde aos eventos nos quais o estágio máximo emitido é superior ao nível do rio alcançado (superestimado) ou para os eventos em que houve erro na emissão dos alertas, associados à dados espúrios de nível registrados pela estação. A variável **c** corresponde aos eventos nos quais o estágio máximo obtido é inferior ao nível máximo do rio alcançado (subestimado). A variável **d** foi desconsiderada da análise por não apresentar critérios que se encaixem em uma situação de NÃO ALERTA X NÃO ALERTA.

Através da construção das tabelas de contingência, foi possível aplicar as Equações 1, 2, 3 e 4, que foram extraídas de Wilks (2011), para avaliar se o Sistema de Alerta de Cheias é eficiente para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. A seguir são apresentadas as fórmulas para a análise da eficiência do Sistema de Alerta de Cheias:

$$\text{Acurácia ou Proporção Correta} \quad PC = \frac{a+d}{a+b+c+d} \quad (1)$$

$$\text{Índice Crítico de Sucesso} \quad CSI = \frac{a}{a+b+c} \quad (2)$$

$$\text{Alarme Falso} \quad FAR = \frac{b}{a+b} \quad (3)$$

$$\text{Viés} \quad BIAS = \frac{a+b}{a+c} \quad (4)$$

Também foram identificados os períodos (dia, mês e ano), nos quais foram emitidos os avisos para que essa informação servisse de base para a identificação do período do ano que apresenta maior incidência de avisos. Inclusive, essa informação obtida também foi utilizada para descobrir qual rio apresenta maior ocorrência de inundações.

Além disso, foi realizado um levantamento de todos os sistemas meteorológicos que

atuaram nos eventos apresentados no Apêndice C, considerando assim que houve elevações nos níveis dos rios, de modo a tentar associar a incidência dos eventos com a ocorrência de sistemas meteorológicos, como Frentes Frias, ZCAS, cavados entre outros.

No que diz respeito à identificação das variáveis hidrológicas, foram utilizados os cotogramas apresentados nos Apêndices D e E para a realização da análise gráfica das seguintes variáveis: TC (Tempo de Concentração), TR (Tempo de Resposta), PU (Precipitação Útil) e TPU (Tempo de Precipitação Útil). A escolha destas variáveis está explicada no capítulo 2 (seção 2.2) desta pesquisa.

Com relação à análise gráfica dos cotogramas, o nível da cota de transbordo foi o valor limite e de referência para o cálculo das variáveis TR, PU e TPU nos casos de transbordamento, de modo diferente ao método apresentado na Figura 5, sendo o pico do cotograma como o valor limite e de referência. Já para os demais casos, foram considerados o nível máximo do cotograma para realizar a análise gráfica. A determinação do TC ocorreu através da identificação dos pontos de inflexão de crescimento e decrescimento, determinados graficamente pela autora desta pesquisa.

Para realizar a análise da correlação entre as variáveis hidrológicas, foi criada uma matriz de correlação, de modo a avaliar a relação de significância positiva, negativa ou neutra entre estas mesmas, agrupadas de acordo com os rios utilizados na análise do estudo. Os valores de tempo foram transformados em minutos para que a correlação pudesse ser elaborada. Descartou-se também todos os eventos que apresentaram elevações significativas, sem que fossem registradas chuvas pelas estações hidrometeorológicas, com o objetivo de permitir que a matriz de correlação apresentasse resultados somente de eventos nos quais foram observadas elevações nos níveis dos rios por conta do impacto das chuvas no local das estações hidrometeorológicas.

Dos tipos de testes de correlação, adotou-se o teste de correlação de Pearson ( $r$ ), que resulta no grau de relação entre duas variáveis quantitativas, variando entre -1 e 1. Quanto mais próximo de -1 ou de 1, mais forte será a correlação. A classificação da magnitude do coeficiente considerada foi a seguinte:  $r = 0,10$  até  $0,30$  (fraco);  $r = 0,40$  até  $0,6$  (moderado);  $r = 0,70$  até  $1$  (forte) (PARANHOS et al., 2014). A equação utilizada para determinar a correlação de Pearson foi obtida em Wilks (2011). Também foram determinados os Coeficientes de Determinação ( $r_{xy}^2$ ), de modo a identificar a proporção da variabilidade de uma das duas variáveis descrita pela outra.

Por fim, foram construídas médias mensais de precipitação de todas as estações

consideradas e citadas no Apêndice B desta pesquisa para a construção da climatologia de precipitação para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. A partir da construção dessas médias, foi calculado o desvio padrão (Equação 5) e anomalia padronizada (Equação 6), permitindo avaliar se a precipitação esteve abaixo ou acima da média climatológica de precipitação para um determinado mês.

$$STD_{\text{mês}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\text{anos}} (PRP_{\text{mês}} - CLIMA_{\text{mês}})^2}{\text{anos} - 1}} \quad (5)$$

$$AP = \frac{PRP_{\text{mês}} - CLIMA_{\text{mês}}}{STD_{\text{mês}}} \quad (6)$$

Ainda sobre a análise da precipitação, foi realizado o cálculo para o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), de modo a avaliar a frequência de anomalias positivas em meses nos quais houve registro de emissão de avisos do tipo Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento. De Oliveira et al. (2020) explica que esse índice permite uma caracterização espaço-temporal da precipitação para uma região, através de uma comparação entre uma série histórica de dados e as condições atuais de precipitação. Esse índice é determinado pelas Equações 7 e 8, onde  $N$  corresponde a precipitação total mensal,  $\underline{N}$  corresponde à precipitação média mensal da série histórica,  $\underline{M}$  representa a média das dez maiores precipitações mensais da série histórica e  $\underline{X}$  representa a média das dez menores precipitações mensais da série histórica.

$$IAC = 3 \left[ \frac{(N - \underline{N})}{(\underline{M} - \underline{N})} \right] \quad (7) \text{ para anomalias positivas,}$$

$$IAC = -3 \left[ \frac{(N - \underline{N})}{(\underline{X} - \underline{N})} \right] \quad (8) \text{ para anomalias negativas.}$$

Esse teste foi realizado para a estação Resende, pertencente ao INMET, por ser uma estação que possui longo período de dados de precipitação, visto que o Sistema de Alerta de Cheias possui uma série de dados de precipitação inferior a dez anos para as estações que compõem o monitoramento para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Com relação a avaliação dos períodos chuvosos, a classificação está descrita na Tabela 9.

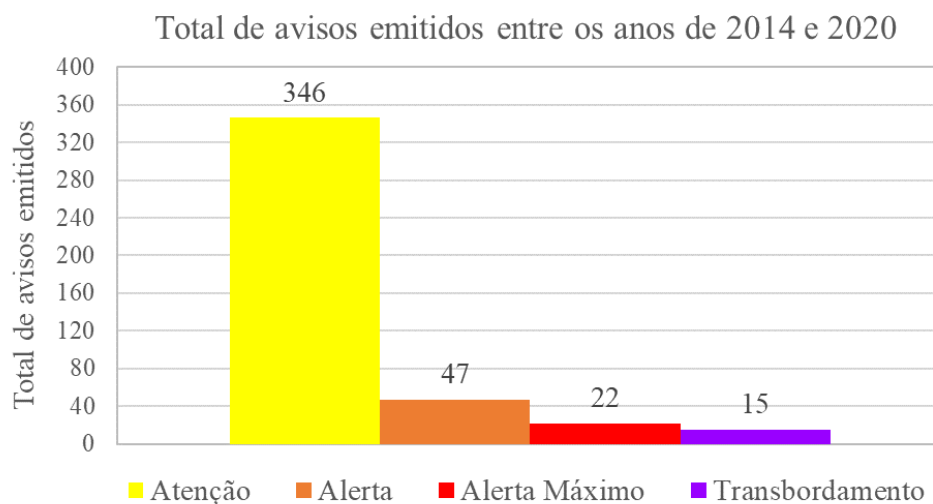
**Tabela 9:** Classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). Fonte: Adaptado de Noronha, Da Hora e Silva (2016).

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Classificação da Pluviosidade
<b>Maior que 4</b>	Extremamente Chuvoso (EC)
<b>Entre 2 e 4</b>	Muito Chuvoso (MC)
<b>Entre 0 e 2</b>	Chuvoso (C)
<b>0</b>	Nem chuvoso Nem Seco
<b>Entre 0 e -2</b>	Seco (S)
<b>Entre -2 e -4</b>	Muito Seco (MS)
<b>Menor que -4</b>	Extremamente Seco (ES)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Histórico de avisos

A partir da análise feita com o levantamento dos avisos emitidos pelo Sistema de Alerta de Cheias, entre maio de 2014 e abril de 2020, obteve-se os seguintes resultados, conforme apresentado na Figura 13.



**Figura 13:** Total de avisos emitidos para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre maio de 2014 e abril de 2020.

Analisando a Figura 13, percebe-se que há um quantitativo significativo de avisos do tipo Atenção em relação aos demais avisos emitidos. Essa discrepância pode ser considerada em função da carência de limiares que possam ser utilizados como referência para a emissão deste tipo de aviso, visto que sua emissão está subordinada apenas a interpretação do meteorologista, com base na avaliação de ferramentas de nowcasting (imagens de satélite, radar

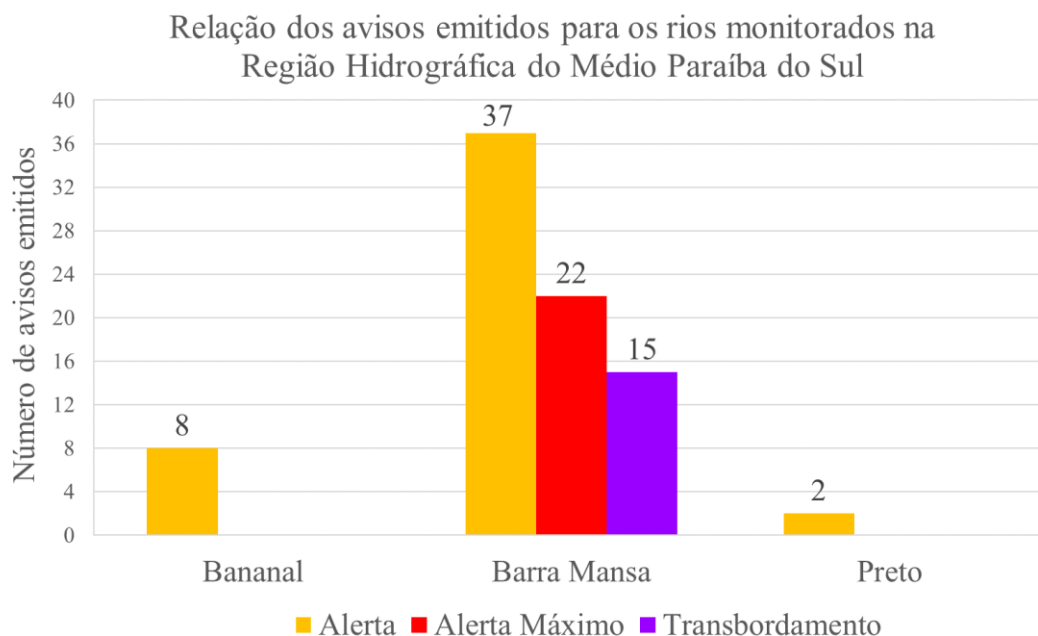
e dados registrados pelas estações hidrometeorológicas), sendo diferente dos estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento que incluem na avaliação das ferramentas de nowcasting as elevações acima do normal dos níveis dos rios registradas pelas estações, inclusive com limiares de referência (cotas de Alerta Máximo e de Transbordamento). Apesar disso, trata-se de um estágio que não demanda mobilização das Defesas Civas, pois possui apenas o intuito de comunicar às autoridades e a população sobre o risco de elevações nos níveis dos rios que possam ocasionar inundações. É importante ressaltar também que um aviso emitido pode resultar em diversos desdobramentos. Um rio pode passar, por exemplo, de um estágio de Alerta para Alerta Máximo ou pode retornar de um estágio de Alerta para um estágio de Atenção. Além disso, a evolução dos estágios pode não seguir a mesma sequência proposta pelo Protocolo Operacional. No entanto, a omissão de alguns estágios pode estar associada à falta de estudos prévios que possam caracterizar os eventos de inundação na região e os aspectos meteorológicos que podem estar associados ao desencadeamento destes eventos. Para a hipótese supracitada, o Sistema de Alerta de Cheias deveria investir em estudos prévios que caracterizem melhor os mecanismos que desencadeiam as inundações, não só na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, mas para todas as Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.

Com relação a investigação do rio que registrou maior emissão de avisos, o rio Barra Mansa, localizado no município de Barra Mansa, é o que apresenta maior incidência de avisos, conforme pode ser observado na Figura 14. Os rios Ribeirão Manoel Pereira e do Saco não foram mencionados por não terem apresentado quantitativo de avisos emitidos do tipo Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento. Percebe-se então que no período considerado, foram emitidos um total de 15 estágios de Transbordamento, 22 estágios de Alerta Máximo e 37 estágios de Alerta para o rio Barra Mansa e apenas 8 e 2 estágios de Alerta para os rios Bananal e Preto, respectivamente.

Com isso, o rio Barra Mansa foi o único rio que apresentou eventos de inundação na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul dentre os rios que são abrangidos pelo monitoramento para a região em questão. Também é importante ressaltar que no levantamento realizado dos avisos emitidos, não há quantitativo de avisos do tipo Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento em um período anterior ao ano de 2016 e para o ano de 2017, sendo este último por conta de problemas técnicos com a operação.

A mudança no valor da cota de transbordo do rio Barra Mansa, sendo esta alterada em 21/01/2016, também remete a quanto este rio precisava passar por ajustes em seu limiar de cota

de transbordo para que o trabalho realizado pelo Sistema de Alerta de Cheias fosse mais eficiente, pois o rio Barra Mansa só começou a registrar emissão de avisos do tipo Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento a partir desta alteração, o que permite compreender que a antiga cota de transbordo não era representativa para este rio.

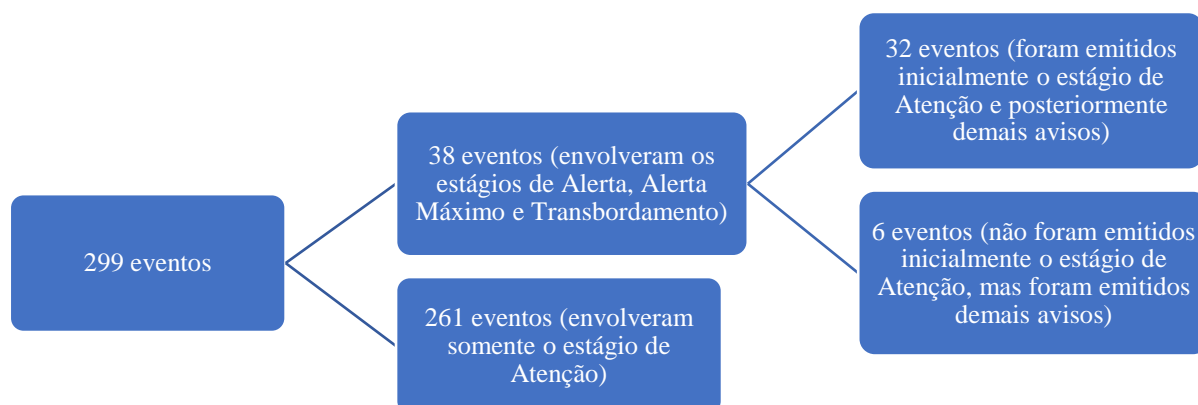


**Figura 14:** Relação de avisos emitidos para os rios Bananal, Barra Mansa e Preto entre maio de 2014 e abril de 2020.

Considera-se então que o fato dos demais rios não terem apresentado registros de inundações, pode estar associado a falta de ajuste na cota de transbordo ou até mesmo da necessidade de realocação das estações de monitoramento, pois elas podem estar instaladas em locais que não estão sendo representativos para o monitoramento do cenário de inundações. Por conta disso, sugere-se ao Sistema de Alerta de Cheias que seja realizada uma investigação junto a Defesa Civil sobre as duas possibilidades citadas acima, pois a morfologia dos rios sofre alterações ao longo dos anos por suas calhas estarem sujeitas as influências urbanas, conforme apontado por Poletto (2011) e Fritzen e Binda (2011).

Transformando o número de avisos apresentado na Figura 13 em número de eventos, tem-se o seguinte resultado apresentado na Figura 15. Para realizar esse processo considerou-se um evento a partir do primeiro aviso emitido, podendo ser do tipo Atenção, Alerta, Alerta Máximo ou Transbordamento. Também se considerou que cada um desses eventos foi encerrado quando o estágio de Vigilância foi emitido. Dessa forma, foram contabilizados todos os eventos, onde também foram identificados todos os avisos do Protocolo Operacional que

foram emitidos em cada um deles, desde o primeiro aviso até a emissão do estágio de Vigilância.



**Figura 15:** Fluxograma do levantamento de eventos considerados.

Assim, na Figura 15, é possível observar um total de 299 eventos identificados, onde 261 deles só foram iniciados com o estágio de Atenção e finalizados com o estágio de Vigilância, o que corresponde 87,3% do total de eventos identificados. Logo, nesses 261 eventos não foram observadas evoluções do Protocolo Operacional. No entanto, nos demais 38 eventos (12,7% do total de eventos), foram observadas evoluções no Protocolo Operacional, ou seja, foram emitidos os estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento, sendo que em 32 deles, foram emitidos inicialmente o estágio de Atenção e nos 6 restantes, não foram emitidos inicialmente o estágio de Atenção. Ressalta-se que dentre os 32 eventos mencionados anteriormente, 1 deles esteve associado a erro na emissão do alerta por estar relacionado com dados espúrios registrados pela estação.

Com o intuito de analisar o quanto o Sistema de Alerta de Cheias é eficiente no que diz respeito à evolução dos estágios do Protocolo Operacional, foram elaboradas as tabelas de contingência, conforme Tabelas 10 e 12, considerando os resultados apresentados acima.

Na Tabela 10 e com base na Tabela 8, a variável **a** corresponde aos 31 eventos nos quais inicialmente foi emitido o aviso do tipo Atenção e que evoluíram para demais estágios do Protocolo Operacional. A variável **b** corresponde aos 6 eventos que foram considerados como subestimados, pois não foi emitido o estágio de Atenção, mas foram emitidos os estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento. O evento que foi considerado como falha por estar associado a dados espúrios registrados pela estação, foi somado aos 261 eventos nos quais foram emitidos os avisos do tipo Atenção e que não evoluíram para demais estágios. Ambos os eventos foram considerados como superestimados e correspondem a variável **c**.



**Tabela 10:** Tabela de contingência considerando todos os avisos desde maio de 2014 até março de 2020.

	<b>ALERTA</b>	<b>NÃO ALERTA</b>	
<b>ALERTA</b>	31	262	Subestimado
<b>NÃO ALERTA</b>	6	0	Superestimado

Com base na Tabela 10, foram obtidos os seguintes resultados, conforme dispostos na Tabela 11:

**Tabela 11:** Resultado dos indicativos obtidos para avaliar a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias quanto à evolução dos estágios do Protocolo Operacional, de acordo com a Tabela 10.

<b>Indicativos para a avaliação da eficiência do Sistema de Alerta de Cheias</b>	
Proporção Correta	10%
Índice Crítico de Sucesso	10%
Alarme Falso	89%
Viés	15,5

De acordo com a Tabela 11, foram obtidos 10% de Proporção Correta e 10% de Índice Crítico de Sucesso, indicando o nível de exatidão e de proporção correta dentro da amostra, o que representa resultados bastante insatisfatórios. Já para o índice de Alarme Falso, foram obtidos 89%, indicando um alto nível de casos detectados como erro dentro da amostra, o que reforça a insatisfatoriedade nos resultados citados anteriormente. Além disso, foi obtido 15,5 de Viés, indicando que o número de casos previstos foi maior que o observado. Com esses resultados, entende-se que o Sistema de Alerta de Cheias não é eficiente no que diz respeito à evolução dos estágios do Protocolo Operacional para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, quando o estágio de Atenção é considerado.

No entanto, com o objetivo de investigar a eficiência da evolução dos estágios do Protocolo Operacional, considerando apenas os eventos nos quais foram emitidos os estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento, foi construída uma nova tabela de contingência. Sendo assim, na Tabela 12, foram considerados os mesmos eventos citados na elaboração da Tabela 10, exceto apenas para os 261 eventos nos quais foram emitidos os alertas do tipo Atenção e que não evoluíram para demais avisos do Protocolo Operacional do Sistema de Alerta de Cheias.

**Tabela 12:** Tabela de contingência considerando somente os eventos descritos no Apêndice C.

	<b>ALERTA</b>	<b>NÃO ALERTA</b>	Subestimado
<b>ALERTA</b>	31	1	Superestimado
<b>NÃO ALERTA</b>	6	0	

Com base na Tabela 12, foram obtidos os seguintes resultados, conforme dispostos na Tabela 13:

**Tabela 13:** Resultado dos indicadores obtidos para avaliar a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias quanto à evolução dos estágios do Protocolo Operacional, de acordo com a Tabela 12.

<b>Indicativos para a avaliação da eficiência do Sistema de Alerta de Cheias</b>	
Proporção Correta	82%
Índice Crítico de Sucesso	82%
Alarme Falso	3%
Viés	7,0

De acordo com a Tabela 12, foram obtidos 82% de Proporção Correta e 82% de Índice Crítico de Sucesso, indicando resultados satisfatórios de nível de exatidão e de proporção correta dentro da amostra. Já para o índice de Alarme Falso, foram obtidos 3%, o que indica um baixo nível de casos detectados como erro dentro da amostra, reforçando os resultados satisfatórios citados anteriormente. Além disso, foi obtido 7,0 de Viés, resultado este mais satisfatório se comparado ao que foi obtido na Tabela 11.

Com relação à avaliação dos resultados obtidos na Tabela 13, conclui-se que os índices apontaram resultados que são considerados satisfatórios em relação aos resultados obtidos na Tabela 11, o que permite compreender que o estágio de Atenção diminuiu significativamente a eficiência das previsões de curtíssimo prazo realizadas pelo Sistema de Alerta de Cheias para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Sugere-se então que o estágio de Atenção passe a ter critério baseado em elevações dos níveis dos rios ou em limiares de precipitação para a emissão deste mesmo.

Já com o intuito de analisar se os tipos de transmissão de dados (GSM/GPRS e GOES/NOAA) influenciam na eficiência do Sistema de Alerta de Cheias mediante a aplicação dos avisos durante os eventos nos quais ocorreram elevações nos níveis dos rios monitorados, foi elaborada uma tabela de contingência, conforme Tabela 14. A construção desta tabela é proveniente da análise dos cotogramas apresentados nos Apêndices D e E, sendo estes divididos em casos de acerto e casos de erro. Nos casos de acerto, considerou-se que o nível máximo

alcançado pelo rio foi condizente com o estágio máximo emitido, tanto para os estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento. Já para os casos de erro, considerou-se que o estágio máximo emitido não corresponde com o nível máximo do rio alcançado.

Na Tabela 14 e de acordo com a Tabela 8, são apresentados os resultados das análises feitas nos cotogramas dos Apêndices D e E. Nela são indicados 30 eventos considerados de acerto, pois o nível máximo do rio foi condizente com o estágio máximo emitido, correspondente à variável **a**. No entanto, foram identificados 8 eventos de erro. Dentre eles, 2 foram considerados como superestimados, pois o estágio máximo emitido foi superior ao nível do rio alcançado, correspondendo a variável **c**, e 6 deles considerados como subestimados, pois o estágio máximo obtido foi inferior ao nível máximo do rio alcançado, correspondendo a variável **b**. Ressalta-se que um dos eventos considerados como superestimado foi considerado como erro por estar associado a dados espúrios de nível do rio.

**Tabela 14:** Tabela de contingência considerando somente os eventos descritos no Apêndice C.

	ALERTA	NÃO ALERTA	
ALERTA	30	2	Subestimado
NÃO ALERTA	6	0	Superestimado

Com base na Tabela 14, foram obtidos os seguintes resultados, conforme dispostos na Tabela 15:

**Tabela 15:** Resultado dos indicativos obtidos para avaliar a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias quanto ao tipo de transmissão de dados (GSM/GPRS e GOES/NOAA) realizado pelas estações mediante à aplicação dos avisos, de acordo com a Tabela 14.

<b>Indicativos para a avaliação da eficiência do Sistema de Alerta de Cheias</b>	
Proporção Correta	79%
Índice Crítico de Sucesso	79%
Alarme Falso	6%
Viés	7,1

De acordo com a Tabela 15, foram obtidos 79% de Proporção Correta e 79% de Índice Crítico de Sucesso, indicando resultados satisfatórios de nível de exatidão e de proporção correta dentro da amostra. Já para o índice de Alarme Falso, foram obtidos 6%, o que indica um baixo nível de casos detectados como erro dentro da amostra, reforçando os resultados satisfatórios citados anteriormente. Além disso, foi obtido 7,1 de Viés, resultado este considerado satisfatório.

Sendo assim, com relação à avaliação dos resultados obtidos na Tabela 15, é possível concluir que os índices apontaram resultados que são considerados satisfatórios, o que permite compreender que a variação do tipo de transmissão dos dados (GSM/GPRS e GOES/NOAA) não diminuiu de forma significativa a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias mediante a aplicação dos avisos durante eventos nos quais ocorreram elevações significativas nos rios monitorados da RH-III.

## 4.2 Variáveis hidrológicas

Do levantamento de avisos emitidos que é apresentado no Apêndice C, foram contabilizados 38 eventos para os rios da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, incluindo os rios Barra Mansa, Bananal e Preto. Dentre esses eventos, foram observadas elevações nos níveis dos rios que envolveram a emissão dos estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento, não necessariamente nesta ordem.

A seguir serão apresentadas as análises dos cotogramas e os valores obtidos das variáveis TC (Tempo de Concentração), TR (Tempo de Resposta), PU (Precipitação Útil) e TPU (Tempo de Precipitação Útil), parâmetros estes apresentados na Figura 5 para todos os eventos nos quais foram relatados no Apêndice C, sendo estes divididos em casos de acerto e de erro. Os demais parâmetros foram desconsiderados, por não apresentarem relevância para a aplicação desta pesquisa.

### 4.2.1 Casos de acerto

Os casos considerados de acertos são os 30 eventos apresentados na Tabela 16 que ocorreram para os rios Bananal (Barra Mansa), Barra Mansa (Barra Mansa) e Preto (Resende).

**Tabela 16:** Resultados das variáveis hidrológicas calculadas para os casos de acerto.

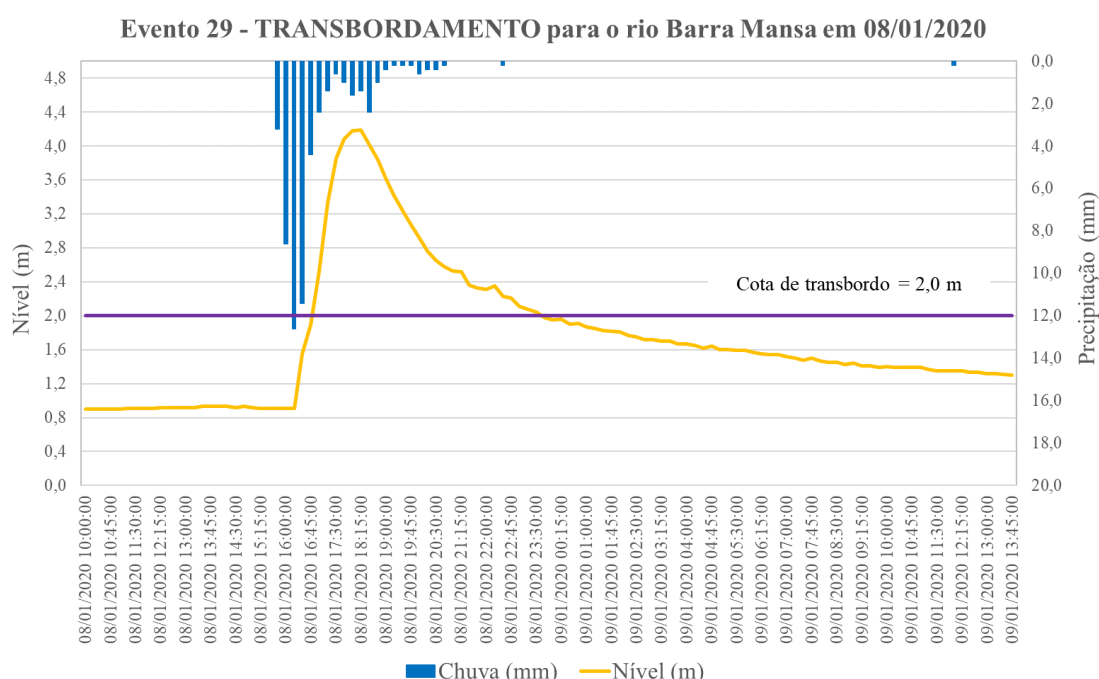
Eventos	Data	PU	TPU	TR	TC
<b>Evento 1</b>	02/01/2016	84 mm	10h45min	5h30min	7h
<b>Evento 2</b>	28/01/2016	4 mm	1h30min	45min	3h15min
<b>Evento 3</b>	15/02/2016	18,2 mm	30 min	30 min	1h
<b>Evento 4</b>	17/02/2016	53,4mm	45min	30min	8h
<b>Evento 9</b>	23/03/2016	40,2 mm	7h45min	6h15min	8h30min

<b>Evento 11</b>	04/01/2018	6,6mm	1h30min	4h30min	9h45min
<b>Evento 12</b>	07/01/2018	33,8 mm	2h	1h	20h
<b>Evento 13</b>	14/01/2018	13,4 mm	1h30min	45 min	1h30min
		0,0mm	0h	0h	3h45min
<b>Evento 14</b>	27/01/2018	33,4 mm	5h	7h15min	13h
<b>Evento 15</b>	30/01/2018	20,4mm	1h15min	2h45min	11h
		22,4mm	45min	3h15min	8h45min
		15,8 mm	1h	3h45min	7h
<b>Evento 17</b>	04/03/2018	16,4 mm	1h30min	45min	1h15min
<b>Evento 18</b>	04/03/2018	0,0mm	0h	0h	5h
		0,0mm	0h	0h	3h15min
<b>Evento 19</b>	07/03/2018	0,0mm	0h	0h	8h30min
		2,8mm	1h30min	5h	5h
<b>Evento 20</b>	28/02/2020	12,6 mm	5h	2h30min	11h
<b>Evento 21</b>	17/03/2019	83,6 mm	4h30min	2h15min	9h
<b>Evento 23</b>	07/04/2019	53,8mm	2h	1h	21h15min
		14,6mm	1h45min	45min	18h30min
<b>Evento 24</b>	18/05/2019	60,2mm	3h30min	1h45min	22h
<b>Evento 25</b>	18/12/2019	59,6mm	1h	2h30min	5h15min
<b>Evento 27</b>	22/12/2019	45,4mm	2h15min	1h	11h15min
<b>Evento 28</b>	05/01/2020	42,6mm	5h30min	6h30min	14h15min
<b>Evento 29</b>	08/01/2020	42,8mm	1h15min	30min	11h
<b>Evento 30</b>	11/01/2020	17,8mm	1h15min	2h15min	6h
<b>Evento 31</b>	12/01/2020	9 mm	2h45min	4h15min	7h
<b>Evento 32</b>	16/01/2020	33,6 mm	3h45min	2h15min	8h30min
<b>Evento 33</b>	05/02/2020	2,4 mm	2h	1h	3h45min

<b>Evento 34</b>	10/02/2020	15,2 mm	1h45min	45min	9h45min
<b>Evento 35</b>	16/02/2020	12,0 mm	2h	1h	8h45min
<b>Evento 36</b>	20/02/2020	33,6 mm	4h45min	3h45min	9h15min
<b>Evento 37</b>	29/02/2020	47,8 mm	1h30min	45min	7h
<b>Evento 38</b>	08/03/2020	59,8 mm	3h15min	4h30min	10h30min

Em todos esses eventos, o nível máximo alcançado pelos rios Barra Mansa, Bananal e Preto foi condizente com o estágio máximo emitido. Isso significa que nos eventos nos quais o estágio máximo foi o de Alerta, o nível dos rios Barra Mansa, Bananal e Preto, estiveram abaixo de 1,6 m, 5,4 m e 2,2 m, respectivamente. Para os eventos nos quais foram emitidos os estágios de Alerta Máximo, o limite do nível do rio Barra Mansa esteve igual ou acima de 1,6 m e abaixo de 2,0 m. Já para os eventos nos quais o estágio máximo emitido foi o de Transbordamento, o nível do rio Barra Mansa esteve igual ou acima de 2,0 m. Para os rios Bananal e Preto, não houve registros de emissão de avisos do tipo Alerta Máximo e Transbordamento.

Na Figura 16 a seguir é apresentado um exemplo de evento que ocorreu em 08 de janeiro de 2020 e que foi considerado como caso de acerto. Nele, podemos observar que o nível máximo foi condizente com o estágio máximo emitido, sendo este o de Transbordamento, visto que o nível do rio chegou a 4,19 m e a cota de transbordo do rio Barra Mansa é de 2,0 m.



**Figura 16:** Evento 29 – 08/01/2020 considerado caso de acerto.

Em relação à proporção total, os casos de acerto representaram 78,9% do total de casos

analisados, o que se considera como um resultado satisfatório para o Sistema de Alerta de Cheias. Os gráficos dos cotogramas para cada um dos eventos da Tabela 16 estão apresentados no Apêndice D - Cotogramas utilizados para o cálculo das variáveis hidrológicas nos casos de acerto.

#### 4.2.2 Casos de erro

Os casos considerados de erro são os 8 eventos apresentados na Tabela 17 que ocorreram para os rios Barra Mansa (Barra Mansa) e Preto (Resende), sendo aqueles nos quais o estágio máximo emitido não corresponde com o nível máximo do rio alcançado.

Pela análise dos eventos, os estágios do tipo Alerta não estiveram obrigatoriamente com nível máximo abaixo de 1,6 m e de 2,2 m para os rios Barra Mansa e Preto, respectivamente. Para os casos de Alerta Máximo, o nível do rio não esteve obrigatoriamente igual ou cima de 1,6 m e nem abaixo de 2,0 m, sendo esta última a cota de transbordo do rio Barra Mansa. E para os casos nos quais foram emitidos os estágios de Transbordamento, o nível do rio não esteve obrigatoriamente igual ou acima de 2,0 m. Conforme mencionado anteriormente, não houve emissão de estágios de Alerta Máximo e Transbordamento para o rio Preto. Além disso, também houve erro na emissão de um aviso para o rio Bananal, pois a estação estava registrando dados espúrios de nível. Por conta disso, não foi elaborado o cotograma para realizar o cálculo das variáveis hidrológicas para este caso específico e, com isso, somente 7 eventos aparecem na Tabela 17.

**Tabela 17:** Resultados das variáveis hidrológicas calculadas para os casos de erro.

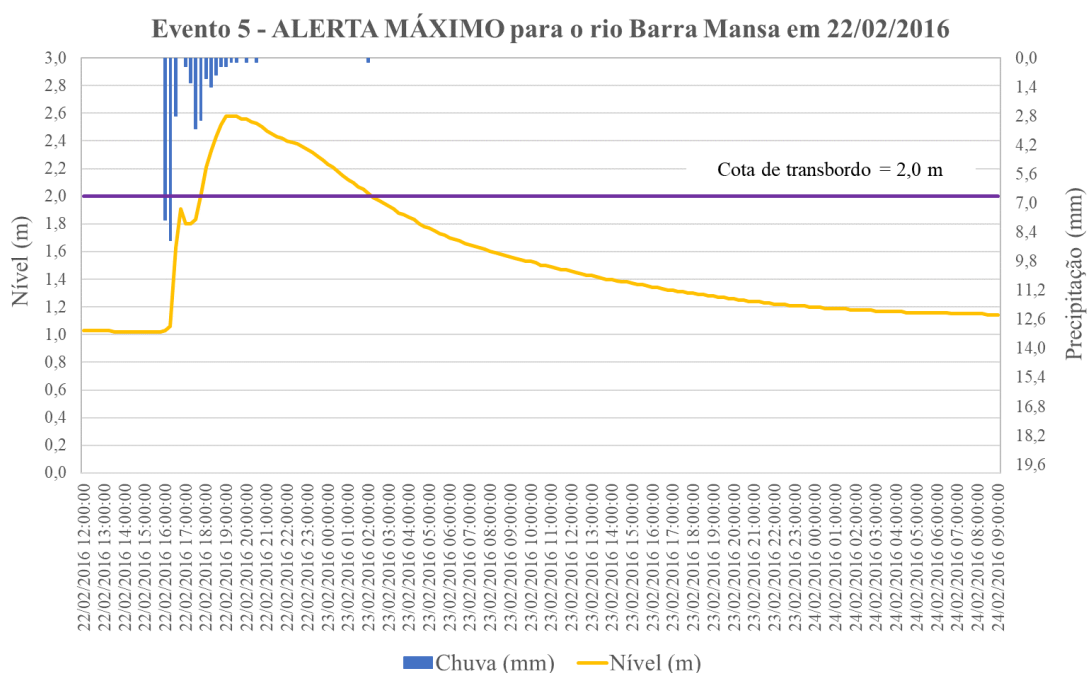
Eventos	Data	PU	TPU	TR	TC
<b>Evento 5</b>	22/02/2016	31,4 mm	3h	1h30min	12h30min
<b>Evento 6</b>	25/02/2016	10,2 mm	45 min	45 min	1h30min
<b>Evento 7</b>	07/03/2016	22 mm	1h15min	3h30min	11h
<b>Evento 8</b>	12/03/2016	22,2 mm	45min	45min	1h30min
		9,4 mm	1h15min	30min	5h
		22,4mm	45min	3h15min	8h45min
<b>Evento 16</b>	03/03/2018	36 mm	1h	30 min	1h15min
<b>Evento 22</b>	06/04/2019	11,8 mm	45min	4h30min	2h45min

<b>Evento 26</b>	19/12/2019	29,2mm	2h30min	1h15min	1h15min
------------------	------------	--------	---------	---------	---------

Na Figura 17 é apresentado um exemplo de evento que ocorreu em 22 de fevereiro de 2016 e que foi considerado como caso de erro. Nele é possível observar que o nível máximo do rio não foi condizente com o estágio máximo emitido, sendo este de Alerta Máximo. Neste evento, o nível máximo do rio Barra Mansa foi de 2,58 m, o que seria considerado um caso de Transbordamento, visto que a cota de transbordo do rio Barra Mansa é de 2,0 m.

Esses casos considerados de erro estão associados a defasagem de tempo entre o registro do dado na estação e o tempo de chegada dessa informação no servidor do INEA, mas também pode estar associada à erros cometidos pela operação durante o monitoramento. Em relação à proporção total, os casos de erro representaram 21,1% do total de casos analisados, o que se considera como um resultado satisfatório. Os gráficos dos cotagramas para cada um dos eventos da Tabela 17 estão apresentados no Apêndice E - Cotagramas utilizados para o cálculo das variáveis hidrológicas nos casos de erro.

No entanto, reforça-se a necessidade do Sistema de Alerta de Cheias buscar alternativas para solucionar este problema junto às equipes de Operação e Manutenção da Rede Hidrometeorológica e da Tecnologia da Informação, pois o tempo que leva para os dados serem transmitidos, o sistema absorver e disponibilizá-los para consulta, compromete a aplicação dos estágios do Protocolo Operacional.



**Figura 17:** Evento 05 – 22/02/2016 considerado caso de erro.



### 4.2.3 Correlação entre variáveis hidrológicas

De acordo com o resultado apresentado na Figura 14, entende-se que o rio Barra Mansa é o rio que apresenta maior número de avisos emitidos e de casos críticos nos quais foram emitidos os estágios de Transbordamento, gerando impacto na comunidade local. Tendo em vista esse resultado e compreendendo a importância de poder estimar possíveis elevações do rio Barra Mansa em função da quantidade de chuva, do tempo de duração da chuva, do tempo de resposta do rio entre a quantidade de chuva que cai nele mesmo ou na bacia de contribuição para que ele apresente elevações e do tempo no qual o rio concentra a quantidade de chuva que cai sobre ele ou na bacia de contribuição, foram obtidas as variáveis hidrológicas citadas no item 2.2 de todos os eventos ocorridos no período de interesse desta pesquisa para o rio Barra Mansa, com o intuito de reunir essas informações e possivelmente obter uma correlação entre elas.

Assim, foram agrupadas todas as variáveis hidrológicas obtidas para o rio Barra Mansa, baseadas na Tabela 16 e que se referem aos casos de acerto. A partir desse agrupamento, foi obtido na matriz de correlação de Pearson (Tabela 18) uma forte correlação entre as variáveis TR x TPU, com valor de 0,7 de correlação. Já para as variáveis TC x PU, o valor de 0,5 indica uma correlação moderada entre as variáveis. Para as variáveis TPU x PU e TC x TPU o valor de 0,3 indica uma correlação fraca entre as variáveis. Já para as variáveis TR x PU e TC x TR, a correlação obtida foi nula. A classificação das correlações foi baseada nos critérios apresentados por Figueiredo Filho e Silva Junior (2009). Esses resultados são considerados satisfatórios apesar da incerteza em relação à obtenção dos valores das variáveis, já que o método utilizado foi o de análise gráfica.

**Tabela 18:** Matriz de correlação de Pearson (r), entre as variáveis hidrológicas analisadas nos eventos ocorridos no rio Barra Mansa.

	PU	TPU	TR	TC
PU	1,0	0,3	0,0	0,5
TPU	0,3	1,0	0,7	0,3
TR	0,0	0,7	1,0	0,0
TC	0,5	0,3	0,0	1,0

Para reforçar a análise das correlações supracitadas, também foram gerados os valores de  $r^2$ , de modo a avaliar a proporção de variabilidade de uma variável descrita pela outra. Sendo assim, de acordo com a Tabela 18, foram obtidos valores de  $r^2$  abaixo de 0,5 para a maioria das combinações entre as variáveis. No entanto, para as variáveis TR x TPU, foi obtido 0,5 de  $r^2$ ,

valor este que indica ser possível considerar um ajuste linear entre as variáveis citadas.

**Tabela 19:** Resultado de  $r^2$  para as variáveis hidrológicas consideradas nesta pesquisa.

	<b>PU</b>	<b>TPU</b>	<b>TR</b>	<b>TC</b>
<b>PU</b>	1,0	0,1	0,0	0,2
<b>TPU</b>	0,1	1,0	0,5	0,1
<b>TR</b>	0,0	0,5	1,0	0,0
<b>TC</b>	0,2	0,1	0,0	1,0

Bacelar et al. (2020) citam um exemplo de aplicação das variáveis hidrológicas para descobrir limiares de chuva que são deflagradores de inundações bruscas, baseado também na retroanálise de eventos ocorridos na bacia. Esses limiares são representados por ajustes de curvas de precipitação acumulada versus duração da precipitação deflagradora, onde podemos fazer uma analogia entre as variáveis PU e TPU. Por conta dos resultados positivos que vem apresentando no setor operacional, essa metodologia se tornou a primeira ferramenta em tempo real de diagnóstico e prognóstico de inundações bruscas e que está sendo utilizada atualmente pelo Cemaden. Tendo conhecimento disso e considerando os resultados positivos obtidos da Correlação de Pearson ( $r$ ) e Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ) obtidos para as variáveis TR e TPU, provenientes também da retroanálise de ventos ocorridos no rio Barra Mansa, propõe-se que essa metodologia apresentada por Bacelar et al. (2020) possa auxiliar o Sistema de Alerta de Cheias à determinar limiares relacionados à chuva que estimem inundações no rio Barra Mansa.

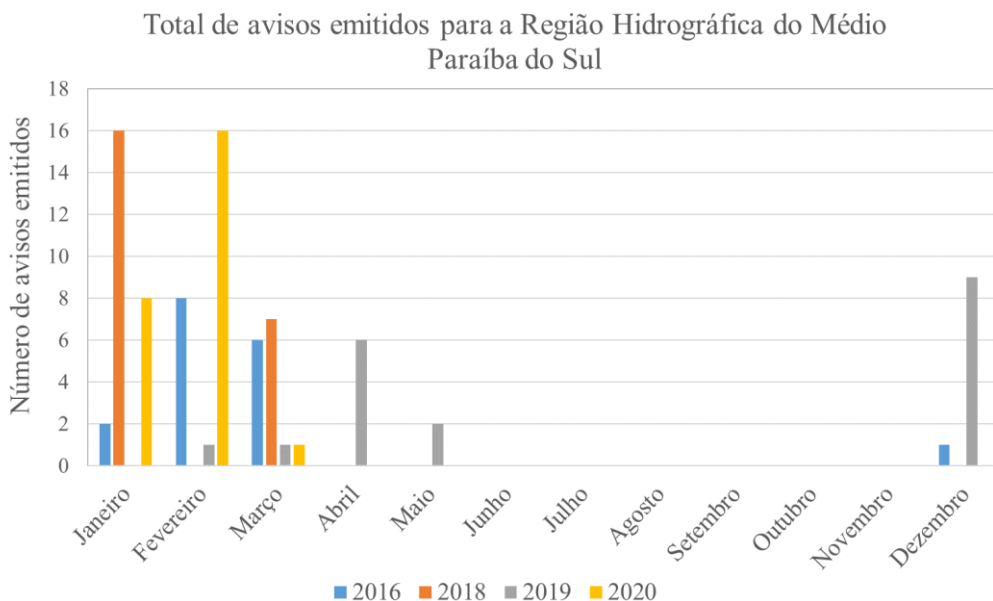
### 4.3 Sistemas meteorológicos

A partir dos eventos considerados nesta pesquisa, também foi realizado o agrupamento do total de avisos emitidos por meses, de modo a poder investigar em quais deles a concentração de emissão de avisos é maior e se esta incidência está associada ao período de maior ocorrência de determinados sistemas meteorológicos.

Na Figura 18, é possível observar que os meses entre dezembro e março foram os que apresentaram maior número de avisos emitidos do tipo Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento, o que condiz com o período chuvoso na região Sudeste.

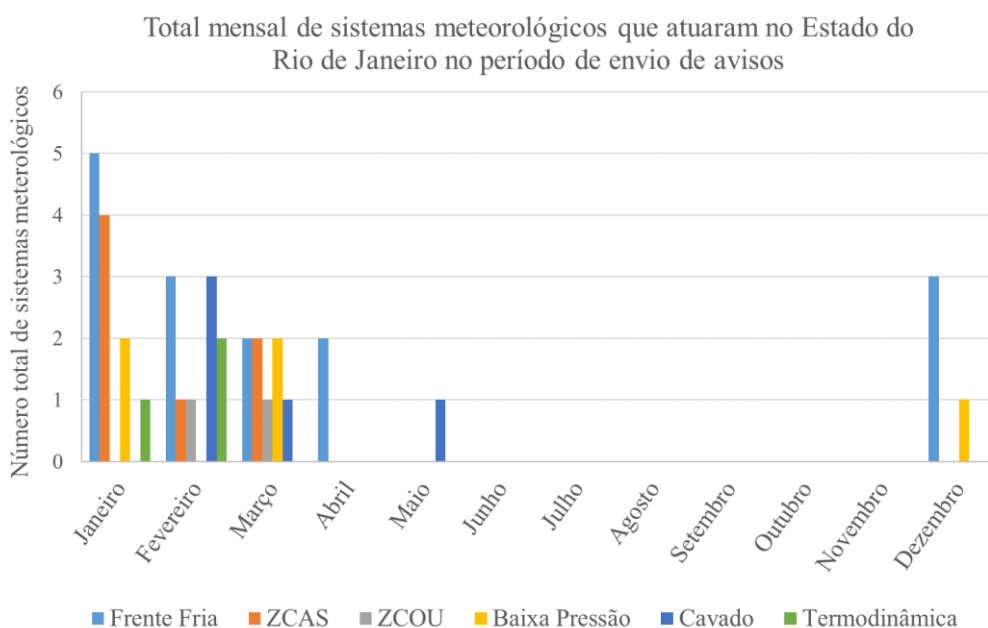
Segundo Cavalcante e Kousky (2009), a estação chuvosa sobre a região Sudeste tem início, em média, na segunda quinzena de outubro, com pico entre os meses de dezembro a fevereiro e redução da atividade convectiva em meados de março e começo de abril. Logo, entende-se que é no período chuvoso que há maior quantidade de elevações significativas nos

rios da RH-III e conseqüentemente maior emissão de avisos.



**Figura 18:** Quantitativo de avisos emitidos por mês para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre 2014 e 2020.

Pela análise geral de distribuição mensal, pode-se observar que a maior incidência se concentra quase que totalmente na estação do verão e estão associadas de forma recorrente à configuração de Frente Frias e ZCAS, assim como pode ser visto na Figura 19, resultado esse que corrobora com Lima, Satyamurty e Fernández (2010), Brasiliense et al. (2018) e Zilli, Carvalho e Lintner (2019), que citam a associação das fortes chuvas causadas na região Sudeste durante o verão com à incursão de Frente Frias e a configuração das ZCAS.

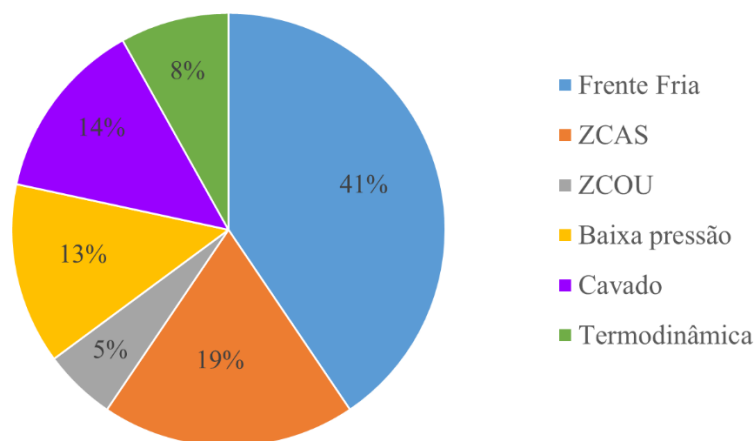


**Figura 19:** Distribuição mensal dos sistemas meteorológicos que atuaram na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul – RJ no período de emissão de avisos.

Carvalho e Jones (2009), citam que a ZCAS é uma das características mais marcantes do clima tropical da América do Sul durante o verão e que, apesar de apresentar variações na organização espacial, na intensidade das chuvas e na circulação, são essas variações que muitas vezes são responsáveis pela ocorrência de eventos severos. Cavalcante e Kousky (2009) também explicam que durante o verão, as Frentes Frias se posicionam frequentemente ao longo da costa do Brasil, entre São Paulo e Bahia, posição climatológica também da ZCAS, o que origina períodos prolongados de chuva, provocando por vezes inundações que geram prejuízos materiais e humanos.

Na Figura 20, são apresentadas as contribuições em porcentagem de cada tipo de sistema meteorológico que ocorreu durante os eventos considerados nesta pesquisa. Além da configuração de Frentes Frias e ZCAS que apresentam uma porcentagem de incidência de 41% e 19%, respectivamente, observa-se a contribuição de cavados que favorecem a convergência em baixos níveis da atmosfera e a ocorrência de precipitação significativa, representando 14% da configuração dos sistemas meteorológicos analisados. Com 13% de incidência, estão os sistemas de baixa pressão que também favorecem a instabilidade atmosférica e a formação de núcleos convectivos. Com menor contribuição, sendo esta 8%, estão as áreas de instabilidade associadas aos efeitos termodinâmicos de aquecimento diurno que, em conjunto com a disponibilidade de umidade, favorecem a formação de núcleos convectivos e a ocorrência de pancadas de chuva. E por último, com apenas 5%, estão as Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU), que tem um comportamento climatológico de configuração também durante o período do verão, semelhante ao da ZCAS.

Quantitativo de sistemas meteorológicos que ocorreram durante o período de emissão de avisos

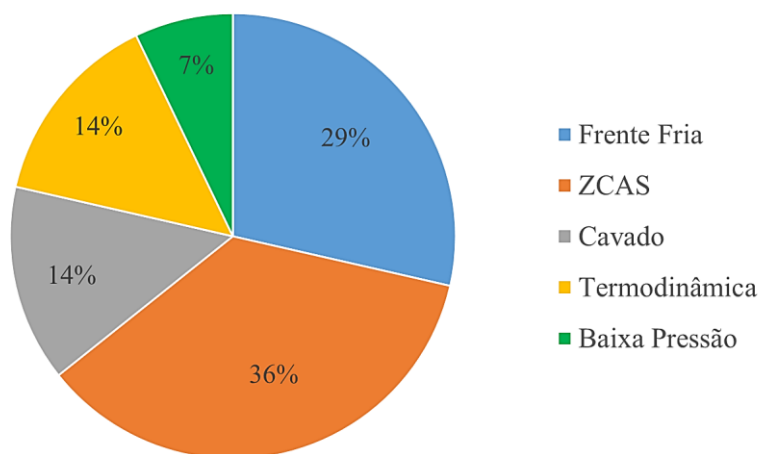


**Figura 20:** Porcentagem da incidência de sistemas meteorológicos relacionados com as datas de emissão de avisos pelo Sistema de Alerta de Cheias para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul - RJ.

No entanto, em uma avaliação mais criteriosa, observa-se que durante os eventos de transbordo do rio Barra Mansa, os sistemas meteorológicos mais atuantes foram as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) com 36%, seguidas de Frentes Frias com 29%, 14% para cavados e para o efeito termodinâmico de aquecimento diurno e, por último, os sistemas de baixa pressão com 7%, conforme pode ser verificado na Figura 21. Logo, entende-se que os sistemas meteorológicos que favorecem a ocorrência de chuva contínua e de forma mais bem distribuída, possuem maior influência para a ocorrência de inundações no rio Barra Mansa em vez de chuvas de caráter mais localizado.

Na Figura 22, são apresentadas também a relação entre os tipos de avisos emitidos e os sistemas meteorológicos atuantes. Observa-se que a maior emissão de avisos esteve relacionada com a passagem de Frentes Frias, sistemas estes que demandaram 37% do total de avisos emitidos, se comparado aos demais tipos de sistemas meteorológicos. Além disso, nota-se que o estágio de Alerta foi o mais emitido em meio a passagem das Frentes Frias, correspondendo a 40% do total de avisos que envolveram este tipo de sistemas meteorológico.

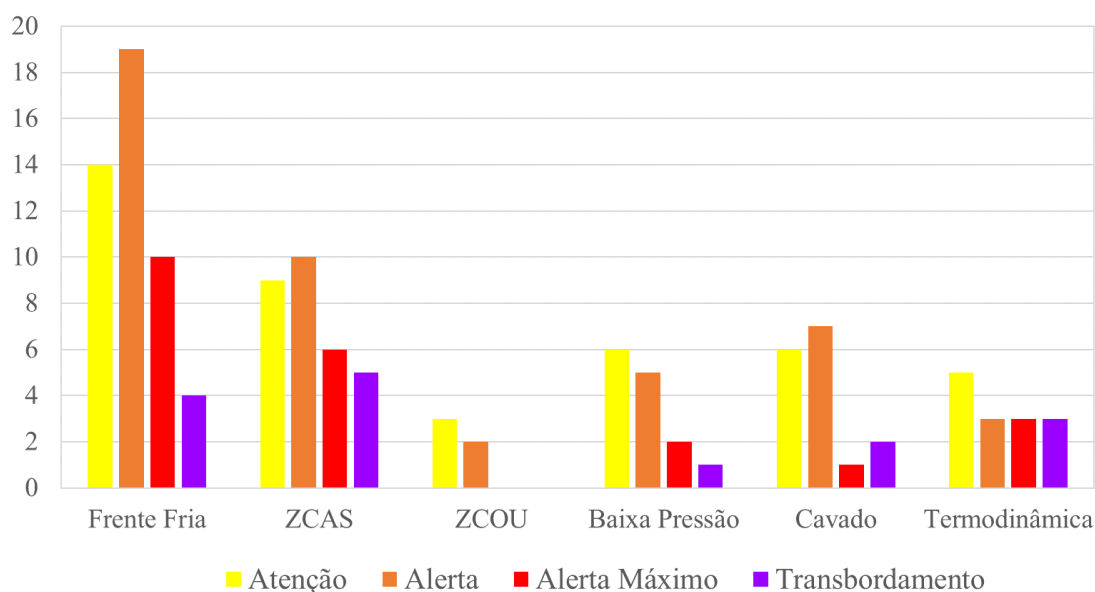
Sistemas meteorológicos atuantes durante a ocorrência de transbordamentos no rio Barra Mansa



**Figura 21:** Porcentagem de sistemas meteorológicos atuantes durante a ocorrência de transbordamentos no rio Barra Mansa.

A obtenção destes resultados contribui para uma melhor caracterização do cenário de inundações na RH-III, o que permite à equipe operacional compreender melhor a dinâmica de interação entre os sistemas meteorológicos e os rios da região de interesse, auxiliando na identificação de cenários propensos a ocorrência de inundações através de prognósticos que indiquem a configuração dos sistemas meteorológicos.

### Variação de avisos por tipo e por sistema meteorológico



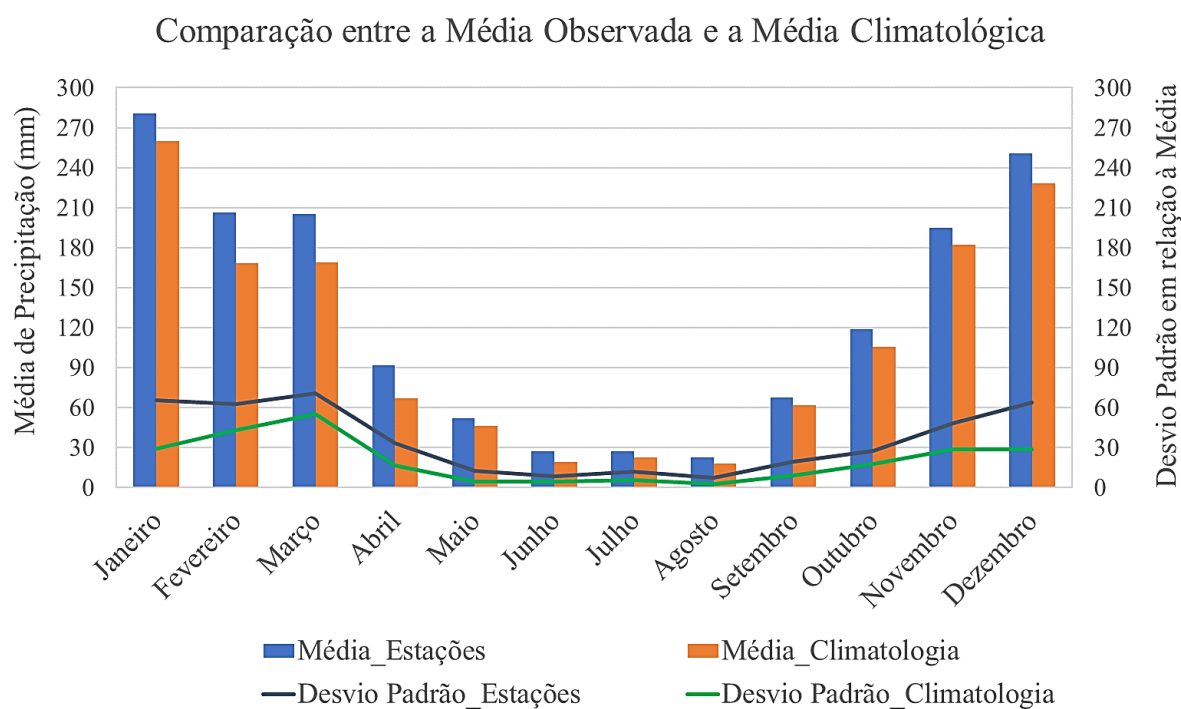
**Figura 22:** Quantitativo de avisos emitidos por tipo e por sistemas meteorológicos para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul.

#### 4.4 Climatologia de precipitação

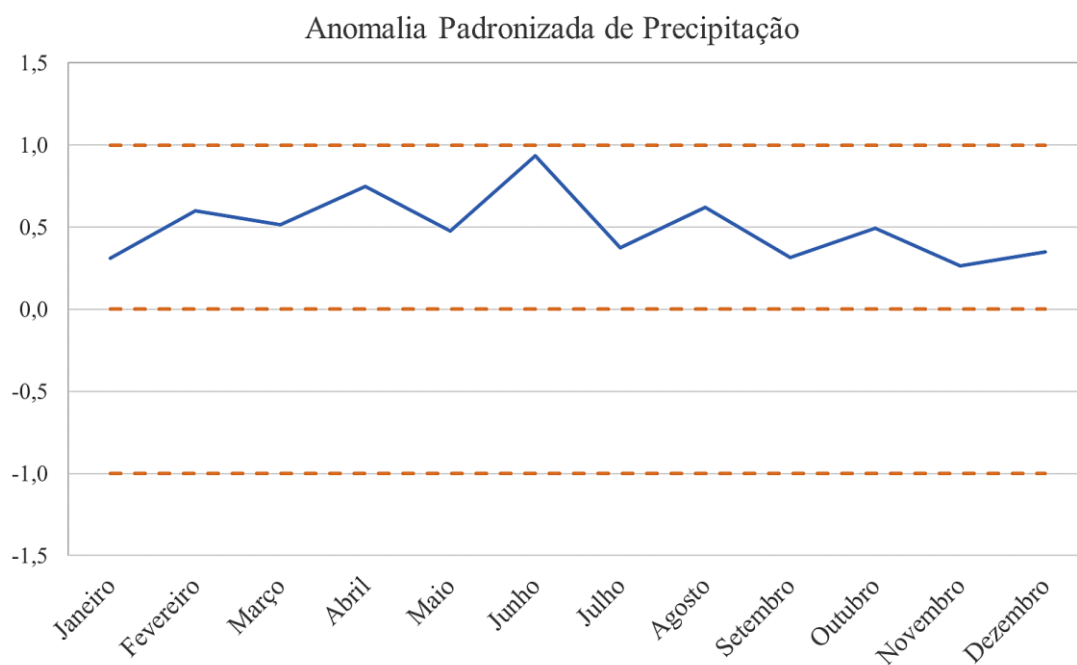
Nesta seção serão discutidos os resultados obtidos da comparação entre o valor médio de precipitação calculado em relação ao valor da normal climatológica de precipitação para a RH-III, bem como também os resultados obtidos da aplicação do Índice de Anomalia de Chuva.

A Figura 23 mostra que em todas as estações do ano as médias calculadas para as estações estão acima do valor médio climatológico. Para melhor avaliar a discrepância entre as médias apresentadas na Figura 23, foi construída a anomalia padronizada de precipitação, que permite avaliar em medidas de desvio padrão, o quanto a chuva esteve abaixo ou acima da média esperada para um determinado mês.

Já na Figura 24, é apresentado o resultado da anomalia padronizada de precipitação. Nela, foram observados valores de anomalia positiva em todos os meses do ano. De modo geral, observa-se que todos os valores de anomalias positivas estiveram entre o intervalo de 0 e 1, sendo este considerável como aceitável, pois indica que a amostra não apresenta comportamentos extremos para valores de precipitação em relação à média climatológica.



**Figura 23:** Comparação entre a normal climatológica de precipitação e a média calculada de precipitação para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre janeiro de 1986 e dezembro de 2019.



**Figura 24:** Anomalia padronizada entre a normal climatológica e a média calculada de precipitação para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul entre janeiro de 1986 e dezembro de 2019.

De acordo com a literatura científica em relação às tendências do comportamento da precipitação, Regoto (2020) mostra que não há uma tendência clara para o comportamento de precipitação na região Sudeste, por conta dos sinais de aumento e diminuição serem

especialmente heterogêneos, o que também corrobora com Penereiro e Meschiatti (2018) e Costa et al. (2012). O autor ainda explica que o comportamento de extremos de precipitação é mais ruidoso e heterogêneo no espaço, devido ao fato de ser uma variável muito afetada por aspectos fisiográficos, como relevo, vegetação e corpos d'água, por exemplo. Além disso, alagamentos e deslizamentos de terra que já são usualmente vivenciados pela população da região Sudeste e, o fato da haver tendência de aumento da precipitação intensa para períodos nos quais já ocorrem altas taxas pluviométricas, faz com que esse tipo de problema seja cada vez mais vivenciado. Esse cenário também é reforçado por Zilli et al. (2017) que cita haver uma tendência positiva na precipitação intensa que, combinadas com a alta densidade populacional urbana e a ocupação inadequada de áreas de risco nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Geras, indicam uma crescente exposição à ocorrência de desastres naturais relacionados com a ocorrência de chuvas nessas regiões.

De modo mais específico, Silva e Dereczynski (2014), em seu estudo climatológico para o estado do Rio de Janeiro, identificaram em estações isoladas uma redução significativa de precipitação para a região do Vale do Paraíba. Outro indicador mostrou que para chuvas intensas, os sinais de tendência são heterogêneos. No entanto, os autores ressaltam que o comportamento da precipitação é bastante variável no espaço e no tempo, fazendo com que localidades próximas possam identificar sinais contrários, o que torna necessária bastante cautela para a análise da precipitação. Outro indicador importante que foi detectado pelos mesmos autores foi a diminuição significativa de períodos secos em parte do Vale do Paraíba.

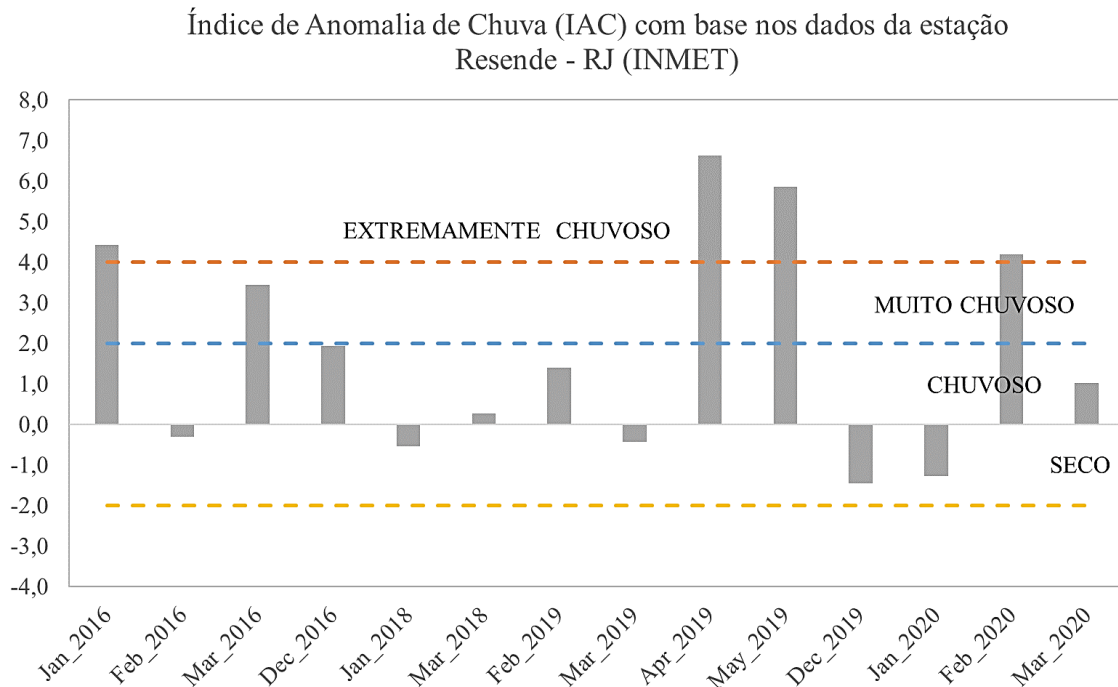
Ainda com relação a climatologia de precipitação, foi realizada a aplicação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), para avaliar o comportamento da precipitação nos meses nos quais foram registradas emissões de alertas do tipo Alerta, Alerta Máximo e Transbordamento para os rios monitorados pelo Sistema de Alerta de Cheias na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, conforme pode ser observado na Figura 25.

Observa-se que a maioria dos meses avaliados estão classificados como chuvosos, muito chuvosos ou extremamente chuvosos, pois o valor observado está acima da média climatológica de precipitação para a região, exceto para os meses de fevereiro de 2016, janeiro de 2018, março e dezembro de 2019 e janeiro de 2020. Para esses meses, a anomalia encontrada foi negativa, porém não é de forte intensidade, o que permite compreender que, mesmo que a precipitação para esses meses tenha sido abaixo da média esperada, ela não impediu que gerasse alterações nos níveis dos rios monitorados para a RH-III e, conseqüentemente, que os avisos fossem emitidos.



Além disso, Da Rocha, Silva e Ribeiro (2019) explicam que a maior parte do Sudeste do Brasil é caracterizada por clima tropical, o que define verões chuvosos e invernos secos. Por isso, trata-se de uma região com alta variação interanual de precipitação, com tendência maior para a ocorrência de eventos extremos entre outubro e março (primavera e verão). No entanto, configurações anômalas entre abril e setembro (outono e inverno), também podem favorecer a ocorrência de eventos extremos, o que corrobora com os resultados apresentados na Figura 25, onde avisos foram emitidos mediante elevação do nível dos rios monitorados na RH – III durante os meses de abril e maio de 2019, meses estes que foram considerados através da aplicação do IAC como extremamente chuvosos.

Segundo Sanches, Verdum e Fisch (2014), o IAC tem se tornado uma ferramenta de ampla utilização em estudos de meteorologia e climatologia, por permitir através de procedimentos simples, a avaliação qualitativa de anomalias extremas de precipitação, além de demais aplicações deste índice. Vale ressaltar que a aplicação deste índice para as estações pertencentes ao INEA tornaria o resultado mais preciso, visto que não pôde ser realizado para esta pesquisa por conta das estações não apresentarem um período de dados suficiente para aplicação deste mesmo.



**Figura 25:** Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para a estação Resende – INMET.

## 5. CONCLUSÕES

Tendo em vista a importância de compreender melhor as dinâmicas que envolvem as inundações urbanas, este trabalho tem como principal objetivo avaliar a eficiência do Sistema de Alerta de Cheias. Para que essa avaliação fosse melhor desenvolvida, ela foi dividida em quatro aspectos: Histórico de avisos, Hidrológico, Meteorológico e Climatológico. A seguir serão apresentadas as conclusões obtidas sobre cada um desses aspectos citados e as melhorias propostas mediante os resultados que tenham sido considerados insatisfatórios.

Com relação ao histórico de avisos, entende-se que o Sistema de Alerta de Cheias é eficiente no que diz respeito ao cumprimento do Protocolo Operacional, apresentando 82% de Índice Crítico de Sucesso e Proporção Correta. No entanto, isso só se faz mediante a desconsideração do estágio de Atenção, visto que de acordo com os resultados, ele diminui significativamente a eficiência das previsões de curtíssimo prazo realizadas pelo Sistema de Alerta de Cheias para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Também se ressalta a importância de buscar soluções para que o tempo entre a transmissão, recepção e disponibilização dos dados no servidor do INEA seja reduzido, visto que este atraso também é uma fonte de geração de alarme falso.

Dentre os rios que são monitorados pelo Sistema de Alerta de Cheias na RH-III, apenas um possui casos de inundações registrados. Considera-se então que o fato dos demais rios não terem apresentado registros de inundações, pode estar associado a falta de ajuste na cota de transbordo ou até mesmo da necessidade de realocação das estações de monitoramento, pois elas podem estar instaladas em locais que não estão sendo representativos para o monitoramento do cenário de inundações. Por conta disso, sugere-se ao Sistema de Alerta de Cheias que seja realizada uma investigação junto a Defesa Civil sobre as duas possibilidades citadas acima, pois a morfologia dos rios sofre alterações ao longo dos anos por suas calhas estarem sujeitas as influências urbanas.

Sobre os aspectos hidrológicos, identificou-se uma forte correlação entre as variáveis TPU (Tempo de Precipitação) e TR (Tempo de Resposta), o que é considerado um resultado satisfatório e reforça o discurso sobre a importância de utilizar a retroanálise de eventos para estimar inundações através de limiares. No entanto, é necessário ainda que estudos futuros possam se elaborados para determinar os limiares dessas variáveis, assim como fez Bacelar et al. (2020).

No que diz respeito aos aspectos meteorológicos, identificou-se que as inundações foram mais recorrentes em episódios de ZCAS. No entanto, as Frentes Frias são as que mais

demandaram emissão de alertas. Sugere-se que essa informação seja utilizada mediante o treinamento da equipe operacional, de modo que os profissionais possam ter um conhecimento maior sobre a caracterização das inundações sobre a RH-III.

E por fim, sobre o aspecto climatológico, não foram identificadas anomalias positivas ou negativas para a variável precipitação com valores acima de 1 e abaixo de -1. Os resultados obtidos da aplicação do IAC indicam que não são comportamentos anômalos de precipitação que induzem a emissão de alertas, visto que em meses considerados secos, foram emitidos alertas para a RH-III. Sugere-se que esse resultado também seja utilizado no treinamento da equipe operacional, conforme citado no parágrafo anterior, de modo a poder caracterizar melhor o cenário de emissão de alertas para a RH-III.

Conclui-se que políticas de prevenção de inundações possuem um importante papel junto à sociedade e devem ser realizadas pelo INEA no estado do Rio de Janeiro, através de medidas estruturais (obras) e medidas não estruturais (normas, regulamentos e programas). O Sistema de Alerta de Cheias é um exemplo de medida não estrutural e por isso seu papel é de grande importância para a sociedade, visto que para a RH-III, ele é eficiente.

## 6. REFERÊNCIAS

ABDO, H. G. Evolving a total-evaluation map of flash flood hazard for hydro-prioritization based on geohydromorphometric parameters and GIS–RS manner in Al-Hussain river basin, Tartous, Syria. **Natural Hazards**, v. 104, n. 1, p. 681-703, 2020.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, n. 2-4, p. 107-124, 2002.

ALERTA DE CHEIAS. **Sistema de Alerta de Cheias**. Disponível em: <<http://alertadecheias.inea.rj.gov.br/sobre.php>> Acesso em: 20 de junho de 2020.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. **Desastres Naturais, conhecer para prevenir: Enchentes e inundações**. 1ª edição. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

BACELAR, L. C. S. D.; MACIEL, A.; ANGELIS, C. F.; TOMASELLA, J. Limiares de chuva deflagra dores de inundações bruscas: metodologia, aplicação e avaliação em ambiente operacional. **Rev DAE**. São Paulo - SP, v.68, n. 221, p.71-86, 2020.

BRASILIENSE, C. S., DEREZYNSKI, C. P., SATYAMURTY, P., CHOU, S. C., DA SILVA SANTOS, V. R., & CALADO, R. N. Synoptic analysis of an intense rainfall event in Paraíba do Sul river basin in southeast Brazil. **Meteorological Applications**, v. 25, n. 1, p. 66-77, 2018.

CARMO, R. L. do; ANAZAWA, T. M. Mortalidade por desastres no Brasil: o que mostram os dados. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, pp. 3669-3681, 2014.

CARVALHO, L. M. V. D.; JONES, C. **Tempo e Clima no Brasil: Zona de Convergência do Atlântico Sul**. 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. **Tempo e clima no Brasil: Frentes frias sobre o Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CBH – MÉDIO PARAÍBA. **Comitê Médio Paraíba do Sul**. Acesso em: 20 de junho de 2020. Disponível em: <<http://www.cbhmedioparaiba.org.br/ocomite.php>>.

CEMADEN. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/inundacao/>> Acesso em: 26 de junho de 2020.

COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres. **Ministério da Integração Nacional**. BRASIL, 2012.

COPPETEC. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro**. R2-f - Caracterização Ambiental, 2014. Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/GESTAODEAGUAS/InstrumentosdeGestodeRecHid/PlanosdeBaciaHidrografica/index.htm#ad-image-0>> Acesso em: 06 de abril de 2020.

COPPETEC. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro**. RT-03 - Vulnerabilidade a Eventos Críticos. Volume 1, 2014. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/GESTAODEAGUAS/InstrumentosdeGestodeRecHid/PlanosdeBaciaHidrografica/index.htm#ad-image-0>> Acesso em: 06 de abril de 2020.

COPPETEC. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro**. RT-03 - Vulnerabilidade a Eventos Críticos. Volume 2, 2014. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/GESTAODEAGUAS/InstrumentosdeGestodeRecHid/PlanosdeBaciaHidrografica/index.htm#ad-image-0>> Acesso em: 06 de abril de 2020.

COPPETEC. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro**. 2014. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/plano-estadual-de-recursos-hidricos/>> Acesso em: 31 de outubro de 2020.

CORRAL, C.; BERENGUER, M.; SEMPERE-TORRES, D.; POLETTI, L.; SILVESTRO, F.; REBORA, N. Comparison of two early warning systems for regional flash flood hazard forecasting. **Journal of hydrology**, v. 572, p. 603-619, 2019.

COSTA, R. L.; SILVA, F. D. DOS S.; SARMANHO, G. F.; FERREIRA, D. B. Análise de tendências de precipitações e temperaturas mensais de 1961 a 2008 no Brasil usando dados gradeados. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 5, p. 1227-1242, 2012.

CUNNINGHAM, C. A. C.; DE ALBUQUERQUE CAVALCANTI, I. F. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 26, n. 9, p. 1165-1180, 2006.

DA ROCHA, F. P.; SILVA, W. L.; RIBEIRO, B. Z. Synoptic analysis of a period with above-normal precipitation during the dry season in Southeastern Brazil. **Advances in Research**, p. 1-13, 2019.

DE OLIVEIRA, S. S.; DE SOUZA, A.; ABREU, M. C.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; CAVAZZANA, G. H. Space-Temporal Characterization Of South Mato Grosso Precipitation: Rain Distribution And Rain Anomaly Index (IAC) Analysis For Climate Phenomena. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, 2020.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 241-254, 2007.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F. de; BOTELHO, R. G. M. Análise Comparativa do Tempo de Concentração: Um Estudo de Caso na Bacia do Rio Cônego, Município de Nova Friburgo/RJ. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió-AL, n. 21, p. 1-20, 2011.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FREITAS, C. M. D.; SILVA, I. V. D. M.; XAVIER, D. R.; SILVA, E. L.; BARCELLOS, C. Desastres naturais e seus custos nos estabelecimentos de saúde no Brasil no período de 2000 a 2015. **Cadernos de Saúde Pública**. v. 36, n. 7, 2020.

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente. **Ateliê Geográfico**, v. 5, n. 3, p. 239-254, 2011.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2005, João Pessoa - PB.

IBGE CIDADES. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2020.

IBGE CIDADES. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 de julho de 2021.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contasnacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=pib-por-municipio>>. Acesso em: 01 de julho de 2021.

INEA. **Instituto Estadual do Ambiente**. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Regionais/MedioParaibadoSul/index.htm>>. Acesso em: 01 de julho de 2021.

IPT - Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília, 2007.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLERRI, G. S. F.; RUDORFF, F. D. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. 1ª ed. Curitiba: Organic Trading, 2006.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1-2, p. 121-135, 2010.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. **Caderno didático**, v. 1, p. 34, 2008.

MINERVINO, A. C.; DUARTE, E. C. Danos materiais causados à Saúde Pública e à sociedade decorrentes de inundações e enxurradas no Brasil, 2010-2014: dados originados dos sistemas de informação global e nacional. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n.3, p.685-694, 2016.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. D. M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. D. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 338-344, 2007.

NASIRI, H.; YUSOF, M. J. M.; ALI, T. A. M. An overview to flood vulnerability assessment methods. **Sustainable Water Resources Management**, v. 2, n. 3, p. 331-336, 2016.

NORONHA, G. D.; DA HORA, M. A. G. M.; SILVA, L. P. Análise do índice de anomalia de chuva para a microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n.1, p.74-81, 2016.

PALLOTTA, M.; NAKAZATO, R. Y. Caracterização de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de umidade (ZCOU) em janeiro e fevereiro de 2010. In: **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010, Belém-PA.

PARANHOS, R.; FIGUEIREDO FILHO, D. B.; ROCHA, E. C. da; SILVA JÚNIOR, J. A. da; NEVES, J. A. B.; SANTOS, M. L. W. D. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno. **Leviathan**, n. 8, p. 66-95, 2014.

- PARIZZI, M. G. Desastres naturais e induzidos e o risco urbano. **Geonomos**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2014.
- PENEREIRO, J. C.; MESCHIATTI, M. C. Tendências em séries anuais de precipitação e temperaturas no Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 319-331, 2018.
- POLETO, C. Alterações morfológicas em um canal fluvial urbano no contexto antrópico, social e ambiental: um estudo de caso. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 4, p. 357-364, 2011.
- REGOTO, P. DE S. Mudanças observadas nos extremos de temperatura do ar e precipitação sobre o Brasil. Rio de Janeiro. **Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO**. 126p, 2020.
- SAHARIA, M., KIRSTETTER, PE, VERGARA, H., GOURLEY, JJ, & HONG, Y. Caracterização de inundações nos Estados Unidos. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 524-535, 2017.
- SANCHES, F. O. de; VERDUM, R.; FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, 2014.
- SELUCHI, M. E.; BEU, C. M.; ANDRADE, K. M. Características das Frentes Frias com potencial para provocar chuvas intensas na Região Serrana de Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 361-376, 2016.
- SILVA, W. L.; DERECZYNSKI, C. P. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p.123-138, 2014.
- TASCA, F. A.; FINOTTI, A.; POMPÊO, C. A.; GOERL, R. F. O papel da drenagem urbana na prevenção de desastres hidrológicos na bacia hidrográfica do Rio Itajaí Açu. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 1, p. 129-142, 2017.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. Desastres naturais: conhecer para prevenir. 1ª ed. São Paulo: **Instituto geológico**, 2009.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª edição. Porto Alegre: UFGRS/ABRH, 2013.
- TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. **Gerenciamento da drenagem urbana**. Porto Alegre, 2001.
- VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v. 11, n. 1, p. 21-26, 2010.
- VESTENA, L. R. A importância da hidrologia na prevenção e mitigação de desastres naturais. **Ambiência**. Guarapuava-PR, v. 4, n. 1, p. 151-162, 2008.
- VIANA, L. P.; FARIAS JÚNIOR, J. E. F. de; OLIVEIRA, C. L. de. Sistema de Alerta de Cheias do Estado do Rio de Janeiro. **In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2009, Campo Grande – MS.

VIEIRA, C. D.; OLIVEIRA, A. E. F.; ALVES, W. G.; ROCHA LEÃO, O. M. da. Análise da degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio Alcântara no município de São Gonçalo, leste metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Equador**, v. 5, n. 4, p. 93-105, 2016.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 3ª edição. Academic Press, 2011.

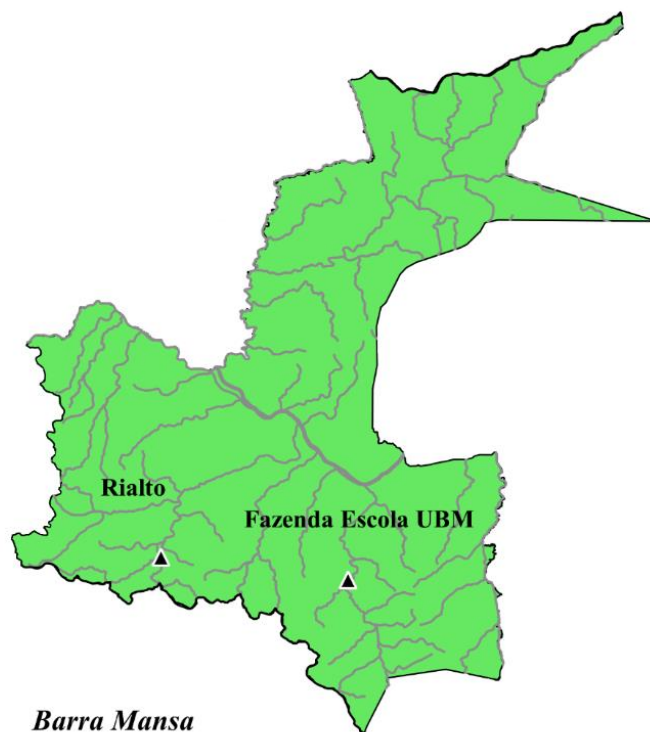
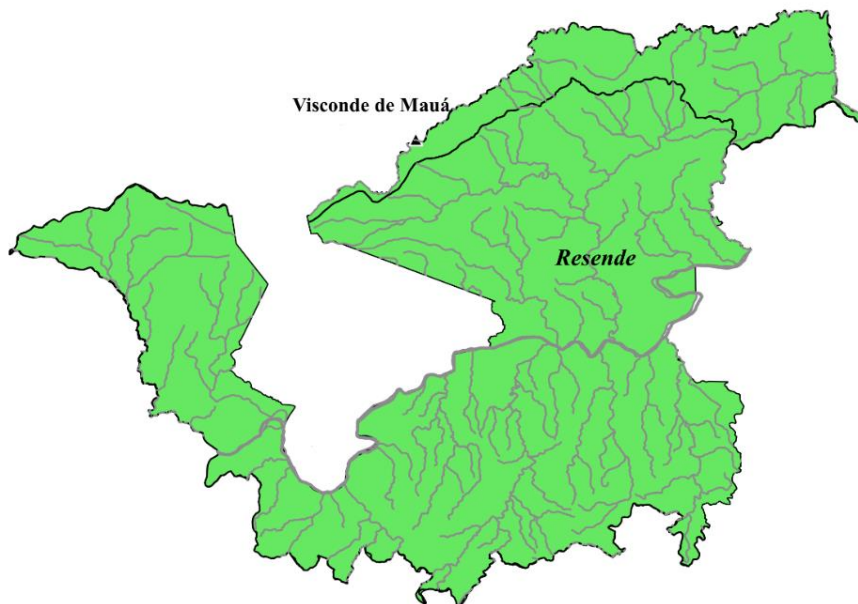
WIRTZ, A.; KRON, W.; LÖW, P.; STEUER, M. The need for data: natural disasters and the challenges of database management. **Natural Hazards**, v. 70, n. 1, p. 135-157, 2014.

ZILLI, M. T.; CARVALHO, L. M.; LIEBMANN, B.; SILVA DIAS, M. A. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269-2279, 2017.

ZILLI, M. T.; CARVALHO, Leila MV; LINTNER, Benjamin R. The poleward shift of South Atlantic Convergence Zone in recent decades. **Climate Dynamics**, v. 52, n. 5, p. 2545-2563, 2019.



**APÊNDICE A** – Recorte dos municípios monitorados pelo Sistema de Alerta de Cheias na RH-III.





*Miguel Pereira*





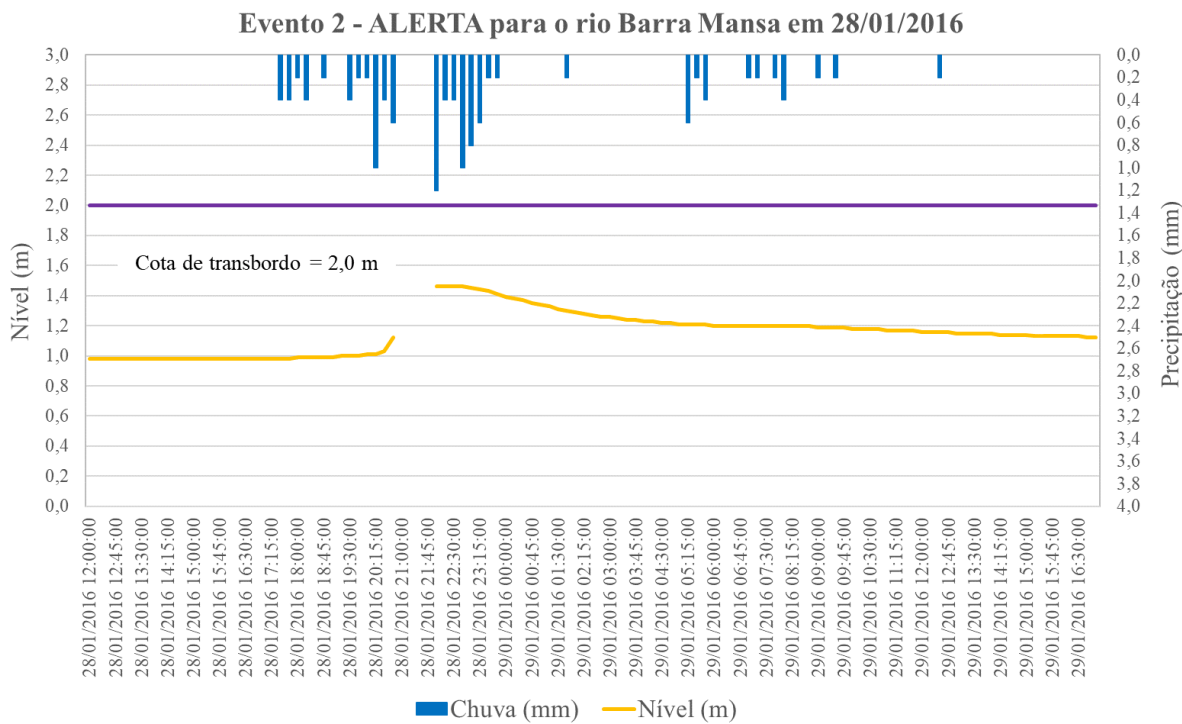
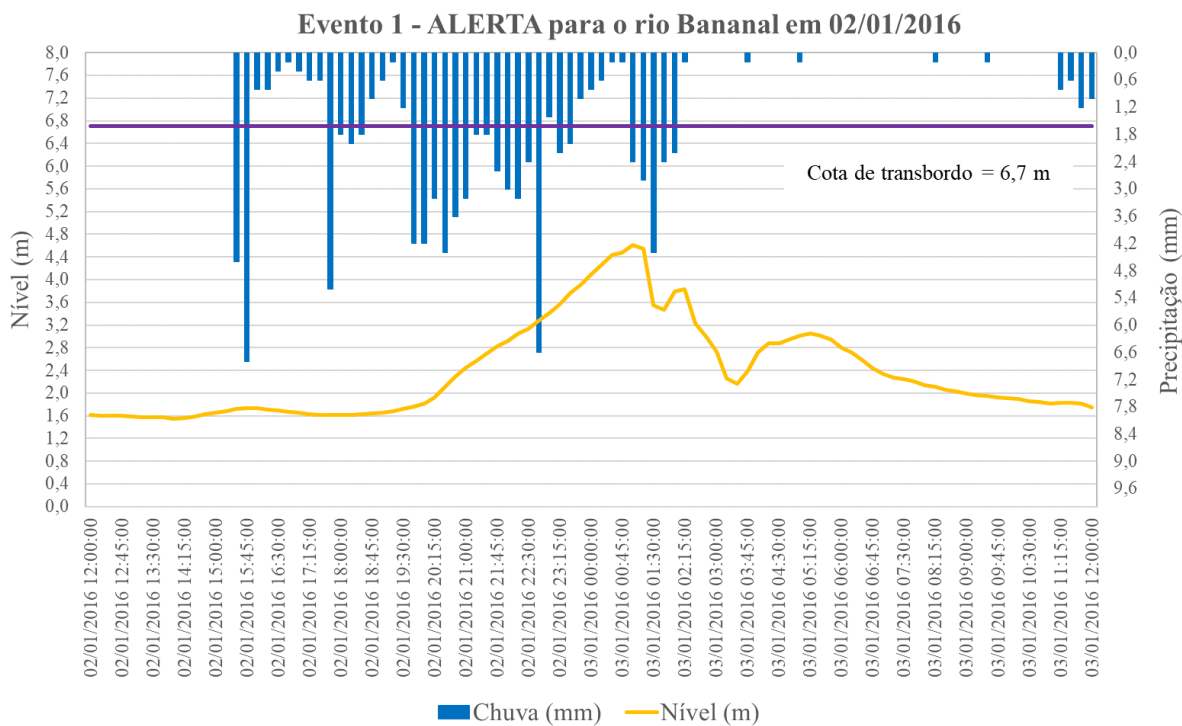
**APÊNDICE B** – Estações utilizadas na construção da climatologia de precipitação.

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Instituição</b>	<b>Operadora</b>	<b>Lat</b>	<b>Lon</b>
2244092	RESENDE	ANA	INMET	-22.4833	-44.4453
2244049	QUATIS	ANA	CPRM	-22.3881	-44.1683
2244101	VOLTA REDONDA (SE)	ANA	LIGHT	-22.5128	-44.0942
2243206	UHE ILHA DOS POMBOS TRÊS RIOS	ANA	LIGHT	-22.1417	-43.2156
2243002	BARRA DO PIRAÍ	ANA	CPRM	-22.4506	-43.7978
2244154	PEDRA SELADA	ANA	FURNAS	-22.3278	-44.3919
2244144	PARQUE NACIONAL DE ITATIAIA	ANA	FURNAS	-22.4500	-44.6000
2243255	AVELAR	ANA	INMET	-22.3333	-43.4167
2244030	NHANGAPI	ANA	CPRM	-22.5014	-44.6322
2243004	CONSERVATORIA	ANA	CPRM	-22.2875	-43.9294
2243005	VALENÇA	ANA	CPRM	-22.2189	-43.7036
2243006	PENTAGNA	ANA	CPRM	-22.1569	-43.7525
2244047	VISCONDE DE MAUÁ (ESC. AGROT)	ANA	CPRM	-22.3300	-44.5383
2244045	NOSSA SENHORA DO AMPARO	ANA	CPRM	-22.3856	-44.1075
2244038	PONTE DO SOUZA	ANA	CPRM	-22.2706	-44.3917
2244039	FAZENDA AGULHAS NEGRAS	ANA	CPRM	-22.3378	-44.5903
83738	RESENDE	INMET	INMET	-22.45	-44.44
83049	AVELAR	INMET	INMET	-22.35	-43.41

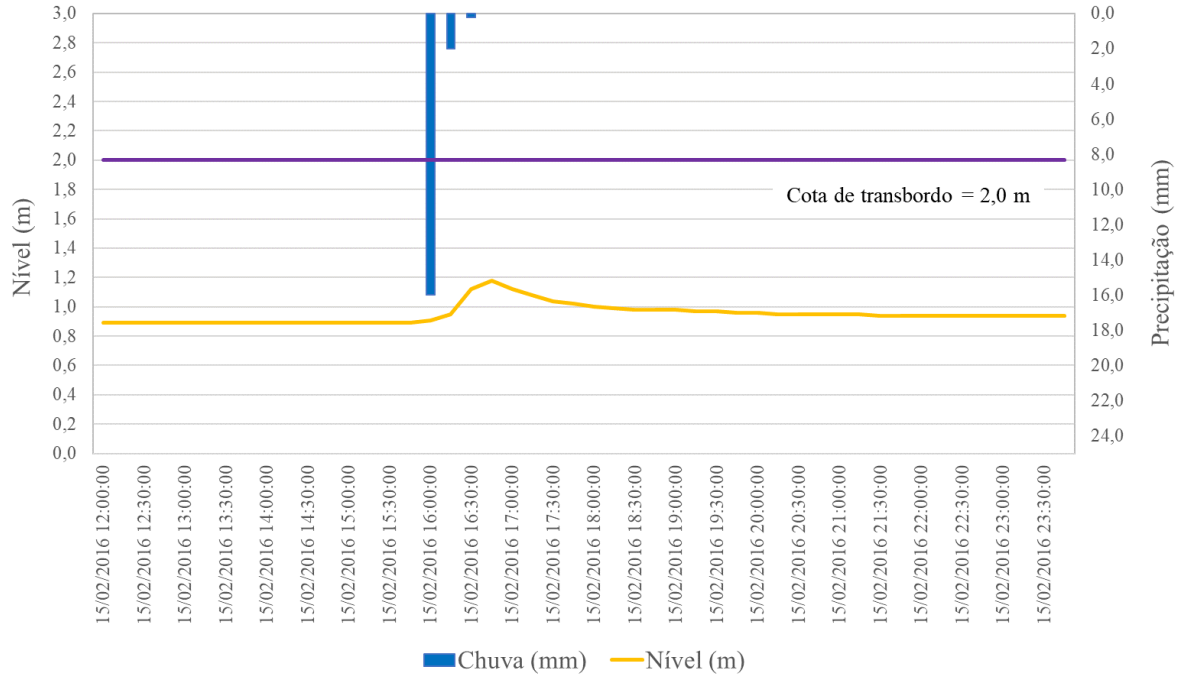
APÊNDICE C – Evolução dos processos de envio dos alertas.

EVENTO	DATA	MUNICÍPIOS	ESTAÇÃO	ATENÇÃO	ALERTA	ALERTA MÁXIMO	TRANSBORDAMENTO	VIGILÂNCIA
1	02/01/2016	Barra Mansa	Rialto		X			X
2	28/01/2016	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM		X			-
				X				X
3	15/02/2016	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM		X			X
4	17/02/2016	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X		X	-
			Fazenda Escola UBM		X			X
5	22/02/2016	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X		X		-
			Fazenda Escola UBM		X			-
			Fazenda Escola UBM	X	X			X
6	25/02/2016	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X			X
7	06/03/2016	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X	X		-
			Fazenda Escola UBM		X			X
8	12/03/2016	Barra Mansa	Barra Mansa	X	X			X
9	23/03/2016	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X	X		X
10	13/12/2016	Barra Mansa	Rialto	X	X			X
11	04/01/2018	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM				X	-
			Fazenda Escola UBM		X			X
12	07/01/2018	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X		X	X	-
			Fazenda Escola UBM		X	X		-
			Fazenda Escola UBM		X			-
				X				X
13	14/01/2018	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X			-
				X				X
14	27/01/2018	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM		X	X		X
15	30/01/2018	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X	X	X	-
			Fazenda Escola UBM		X	X		-
			Rialto	X	X			X
16	03/03/2018	Resende	Visconde de Mauá	X	X			X
17	04/03/2018	Resende	Visconde de Mauá	X	X			X
18	04/03/2018	Barra Mansa	Rialto	X	X			-
			Fazenda Escola UBM		X	X		X
19	07/03/2018	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X			X	-
			Fazenda Escola UBM	X	X			X
20	28/02/2019	Barra Mansa	Rialto	X	X			-
				X				X
21	17/03/2019	Barra Mansa	Rialto	X	X			X
22	06/04/2019	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X	X		X
23	07/04/2019	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X		X	X	-
			Fazenda Escola UBM			X		-
			Rialto		X			-
				X				X
24	18/05/2019	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X			X	-
			Rialto		X			X
25	18/12/2019	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X		X	-
			Fazenda Escola UBM			X		-
			Fazenda Escola UBM		X			X
26	19/12/2019	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X			X
			Fazenda Escola UBM	X	X		X	-
27	22/12/2019	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM		X			-
			Fazenda Escola UBM	X	X			X
28	05/01/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X	X		-
				X				X
29	08/01/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X			X	-
				X				X
30	11/01/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X	X		X
31	12/01/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X			X
32	16/01/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X	X		X
33	05/02/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X	X	X	X
34	10/02/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X		X	X	-
			Fazenda Escola UBM		X			X
35	16/02/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X		X	-
			Fazenda Escola UBM			X		-
			Fazenda Escola UBM	X			X	-
			Fazenda Escola UBM		X			-
			Fazenda Escola UBM		X			X
36	20/02/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X	X		X
37	29/02/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM			X	X	-
			Fazenda Escola UBM		X			X
38	08/03/2020	Barra Mansa	Fazenda Escola UBM	X	X			X

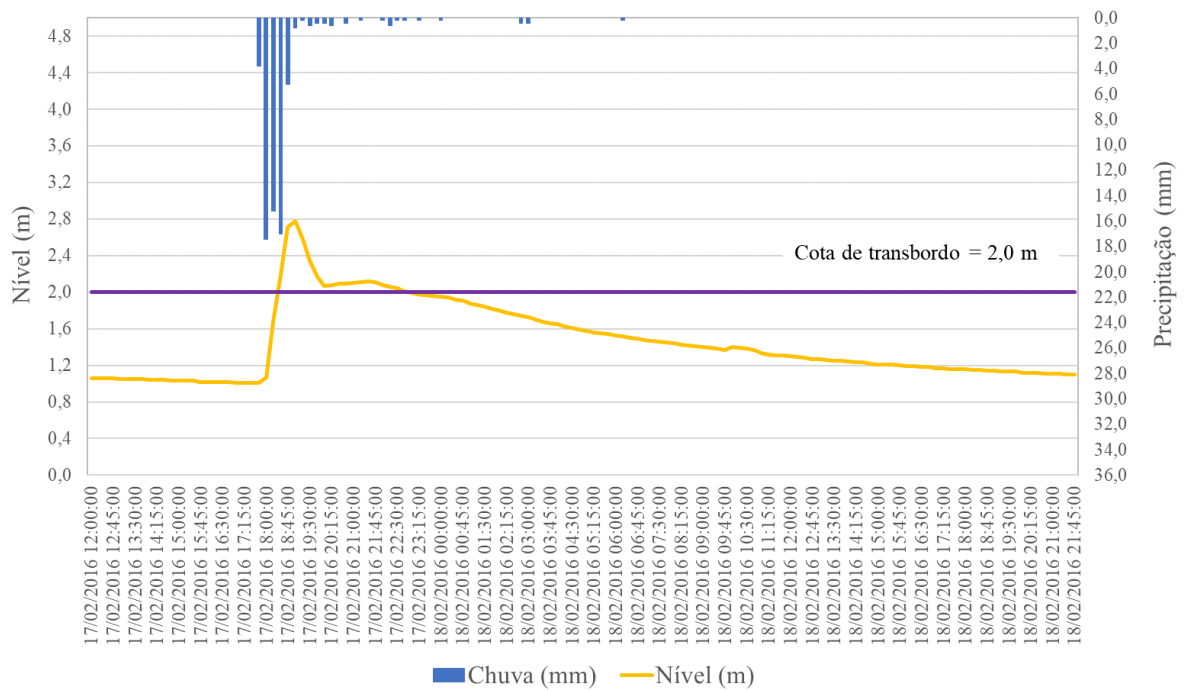
**APÊNDICE D – Cotagramas utilizados para o cálculo das variáveis hidrológicas nos casos de acerto.**



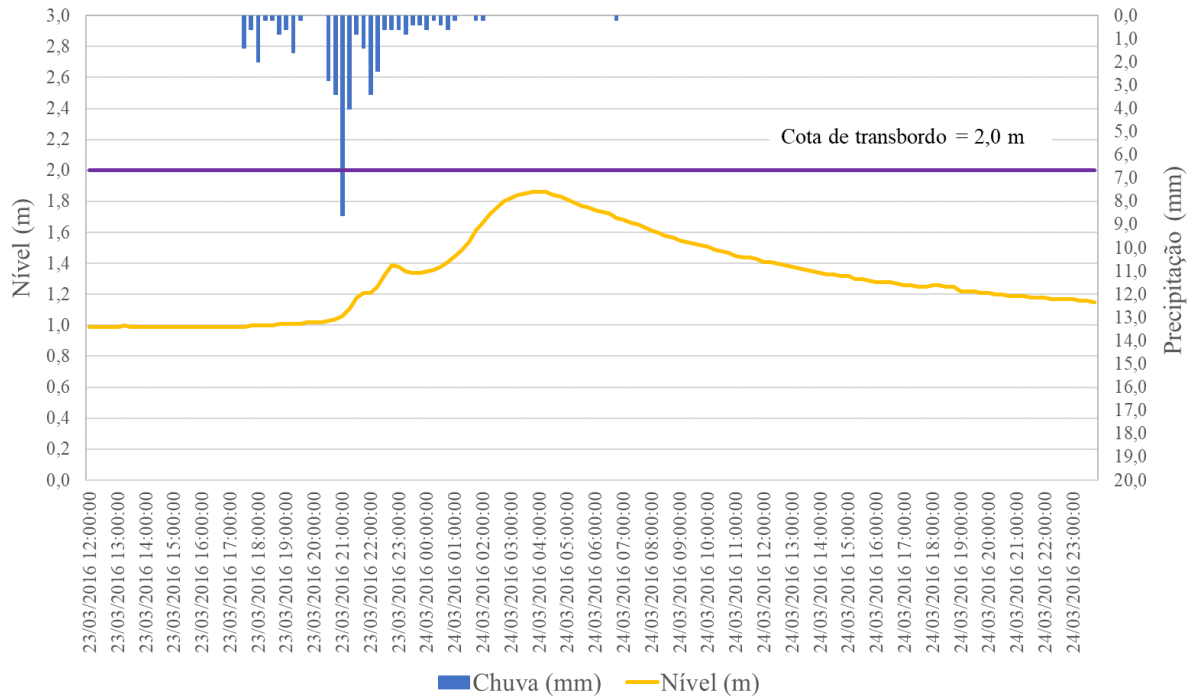
### Evento 3 - ALERTA para o rio Barra Mansa em 15/02/2016



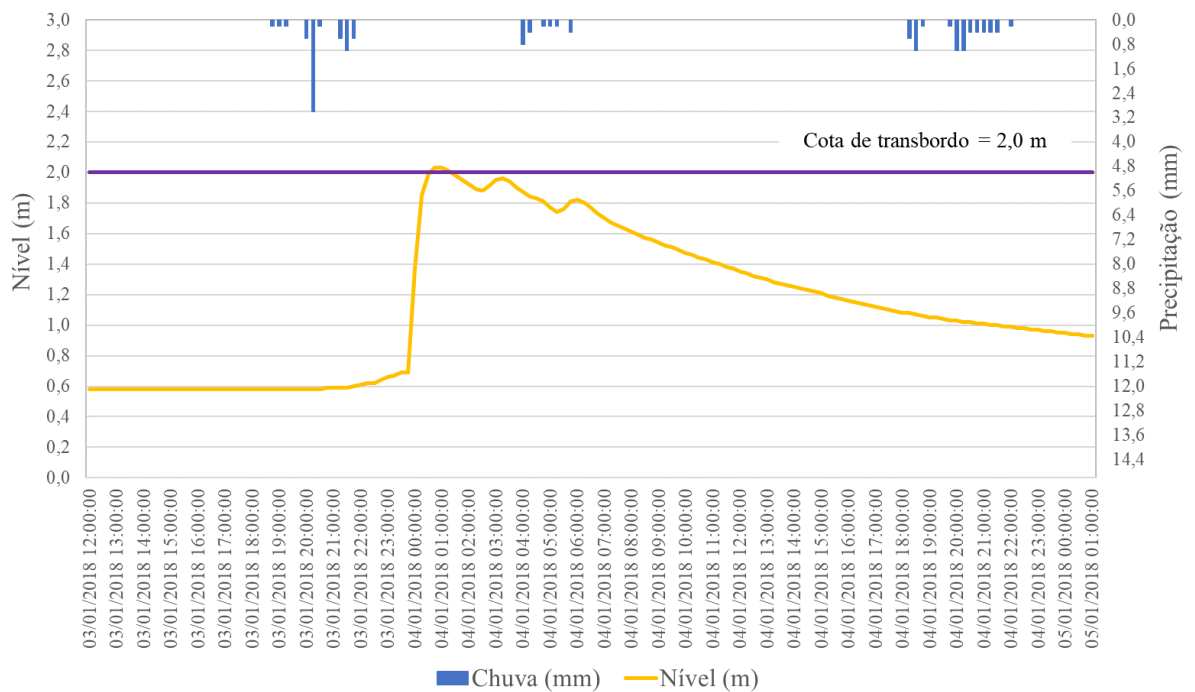
### Evento 4 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 17/02/2016



### Evento 9 - ALERTA MÁXIMO para o rio Barra Mansa em 23/03/2016

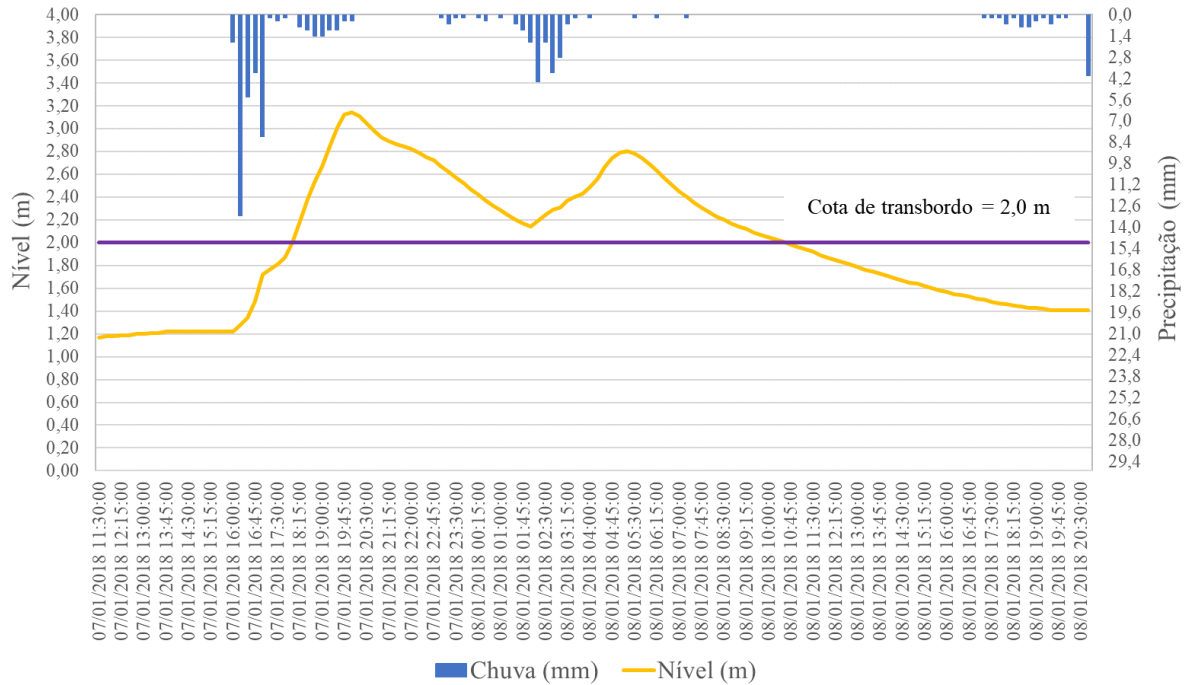


### Evento 11 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 04/01/2018

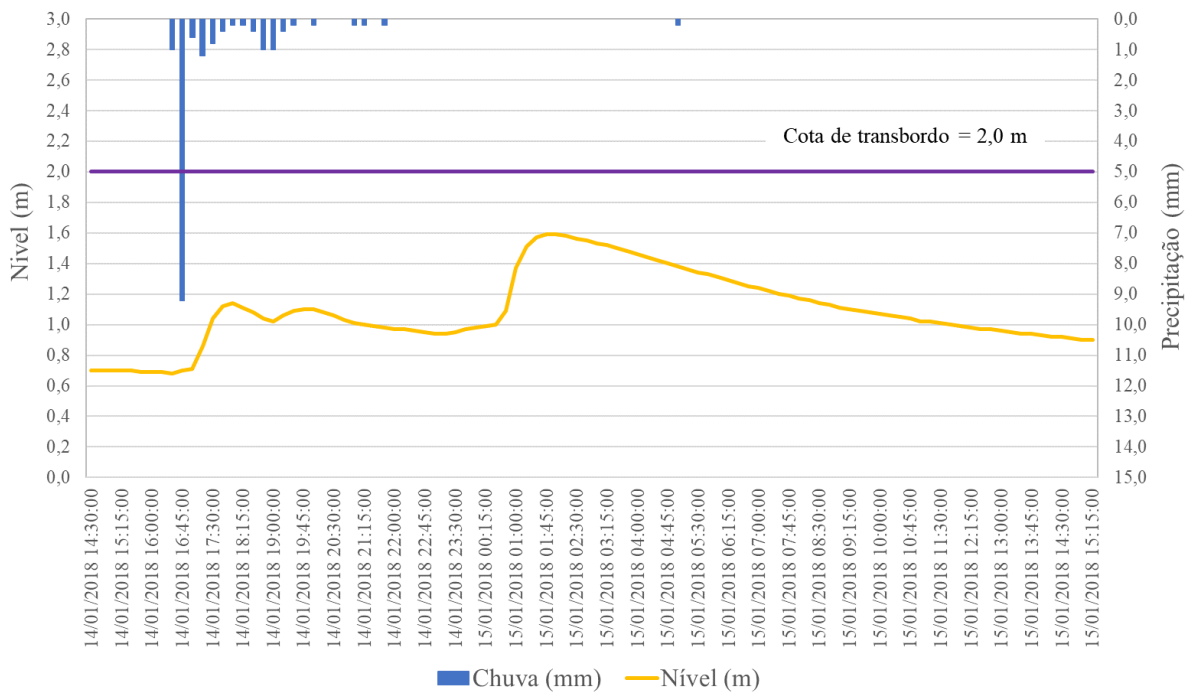




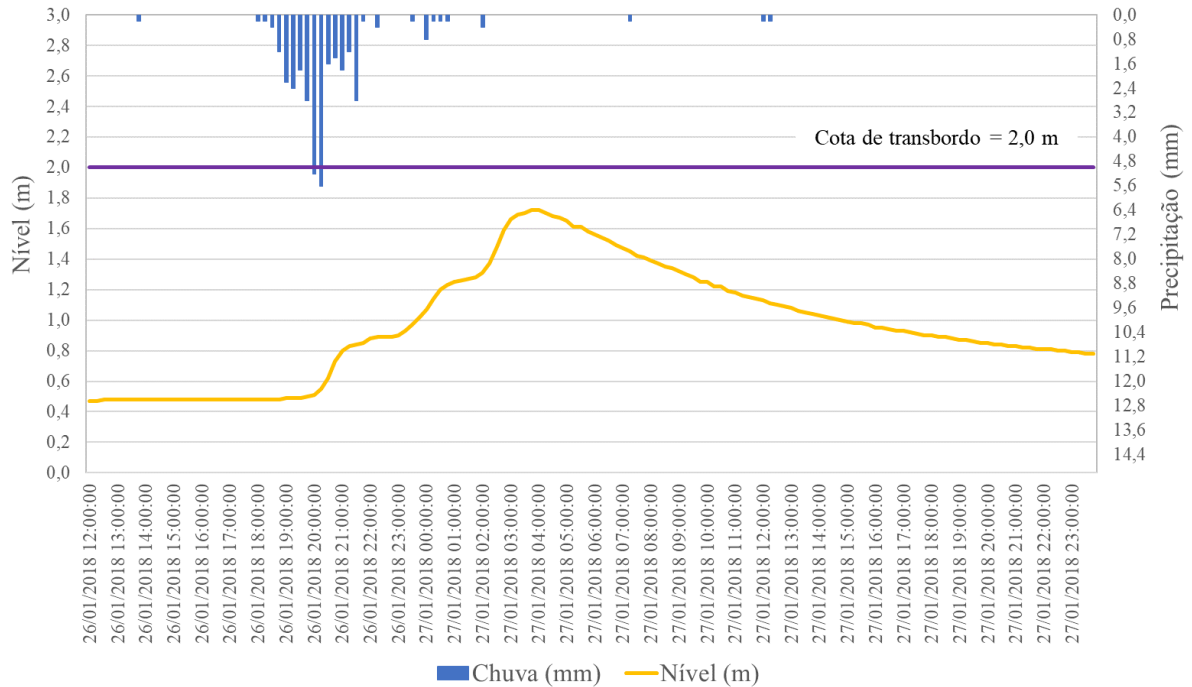
**Evento 12 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 07/01/2018**



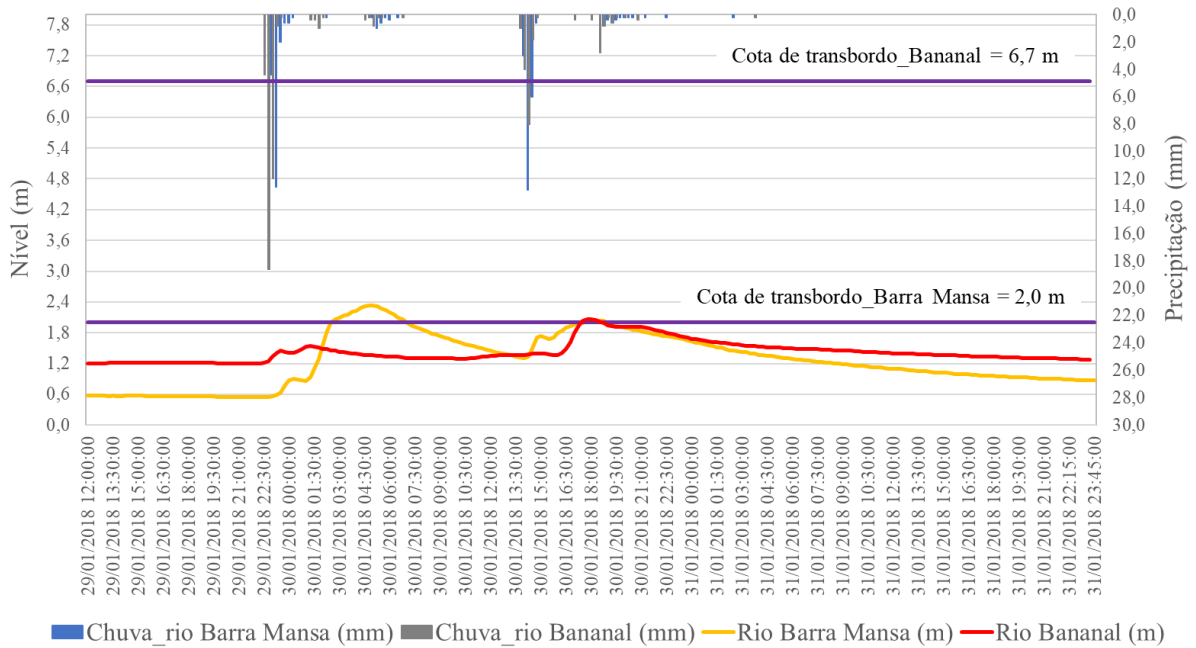
**Evento 13 - ALERTA para o rio Barra Mansa em 14/01/2018**



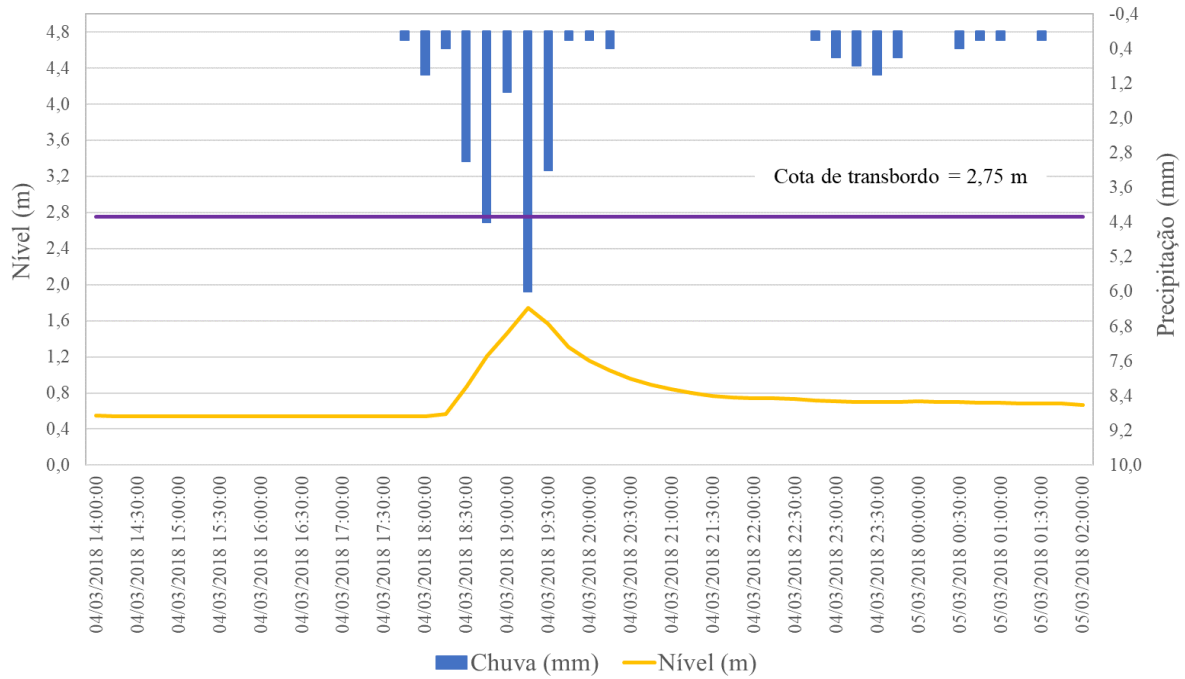
### Evento 14 - ALERTA MÁXIMO para o rio Barra Mansa em 27/01/2018



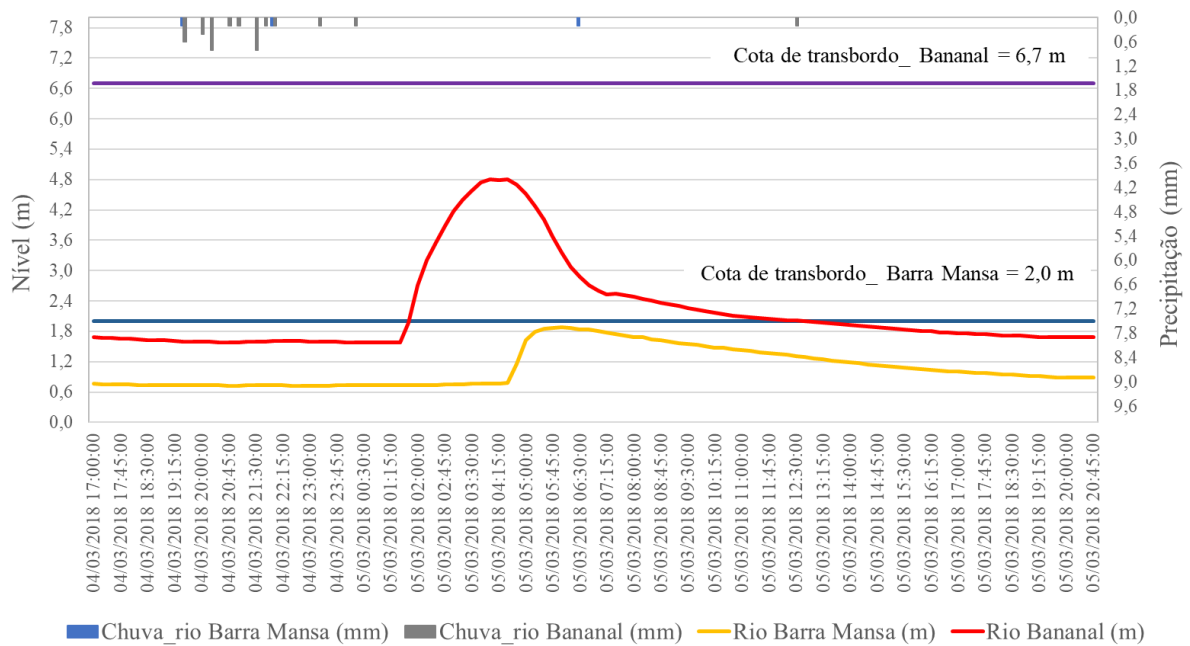
### Evento 15 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa e ALERTA para o rio Bananal em 30/01/2018



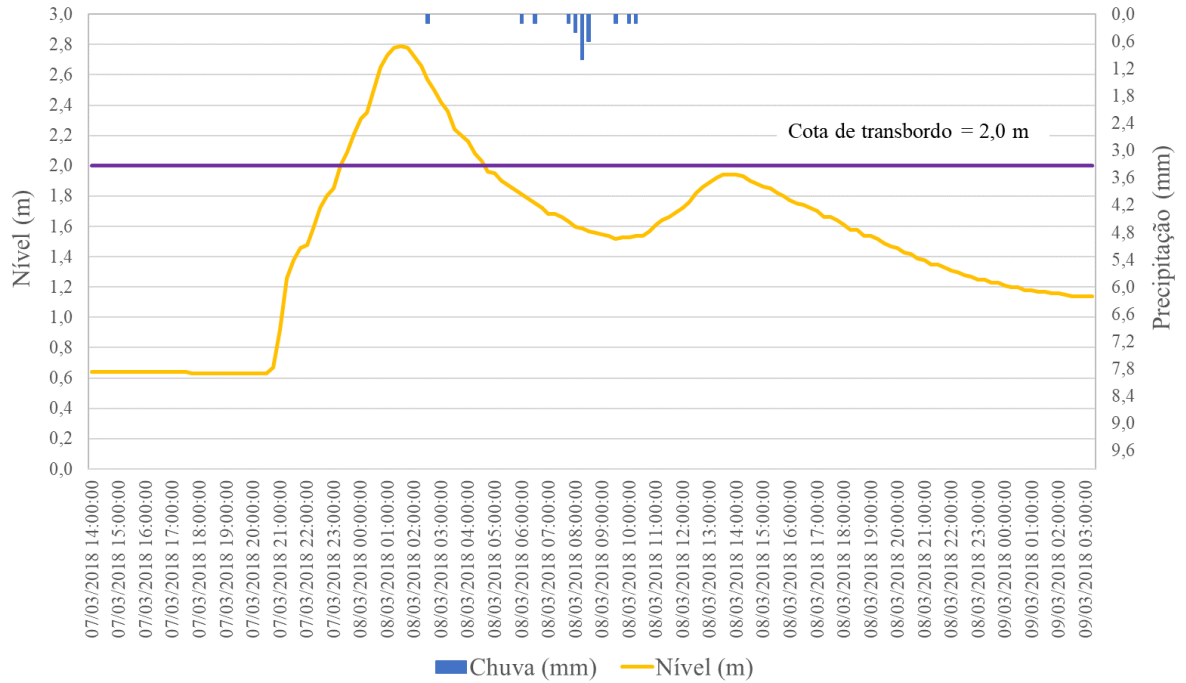
### Evento 17 - ALERTA para o rio Preto em 04/03/2018



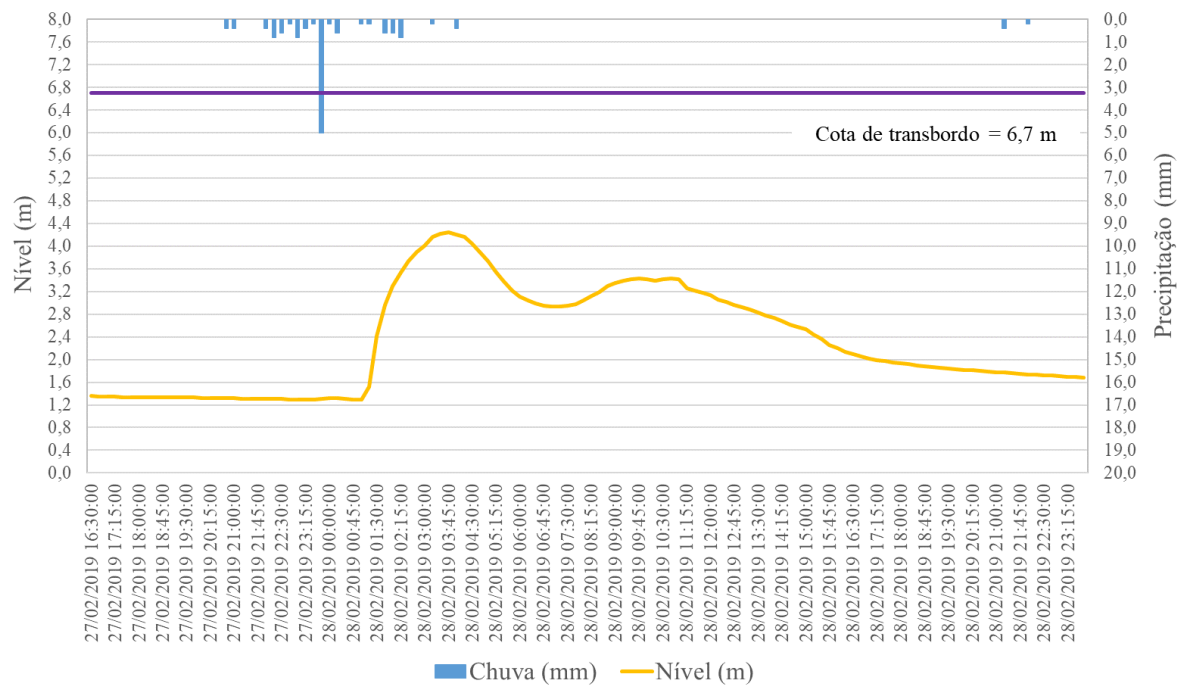
### Evento 18 - ALERTA MÁXIMO para o rio Barra Mansa e ALERTA para o rio Bananal em 04/03/2018



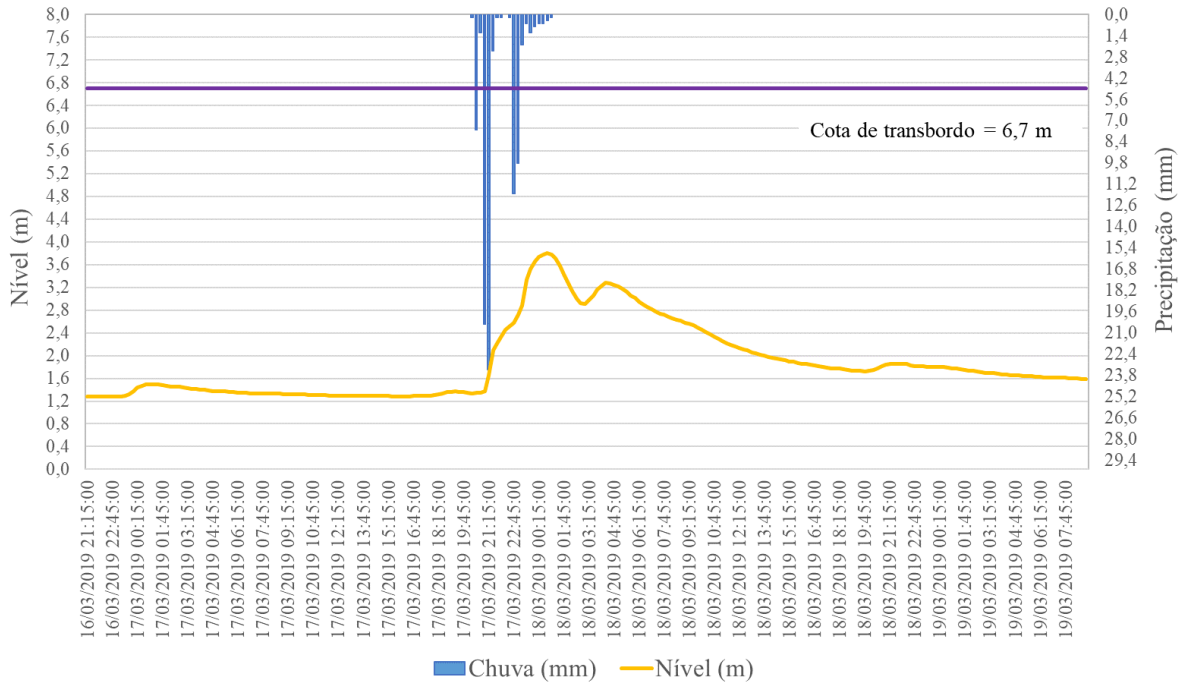
### Evento 19 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 07/03/2018



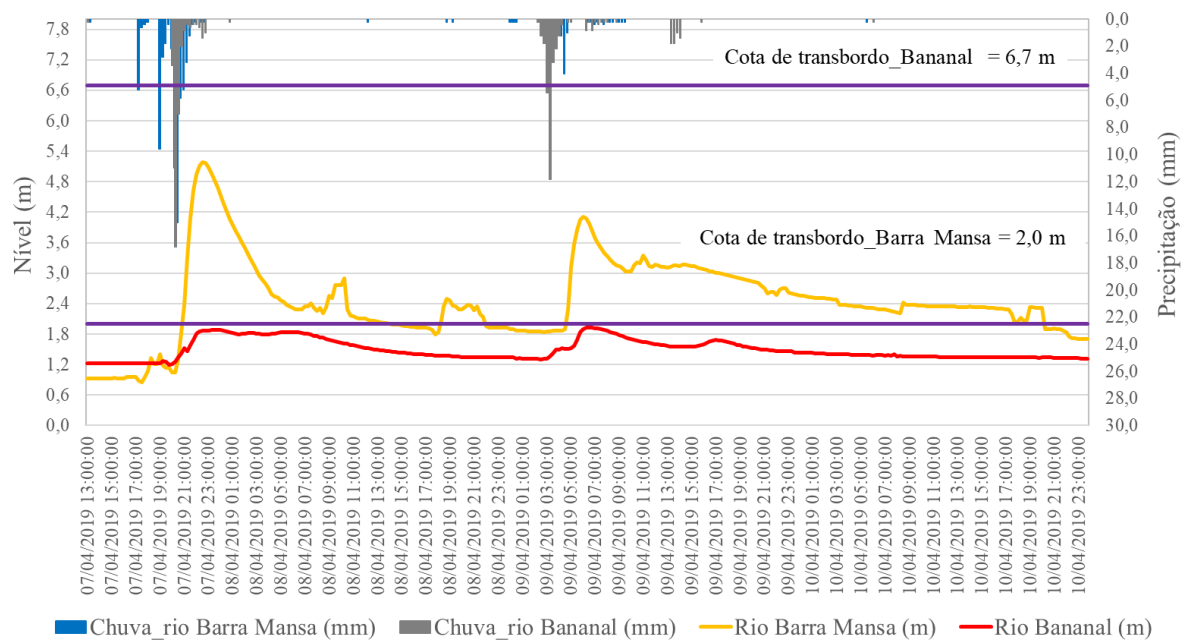
### Evento 20 - ALERTA para o rio Bananal em 28/02/2019



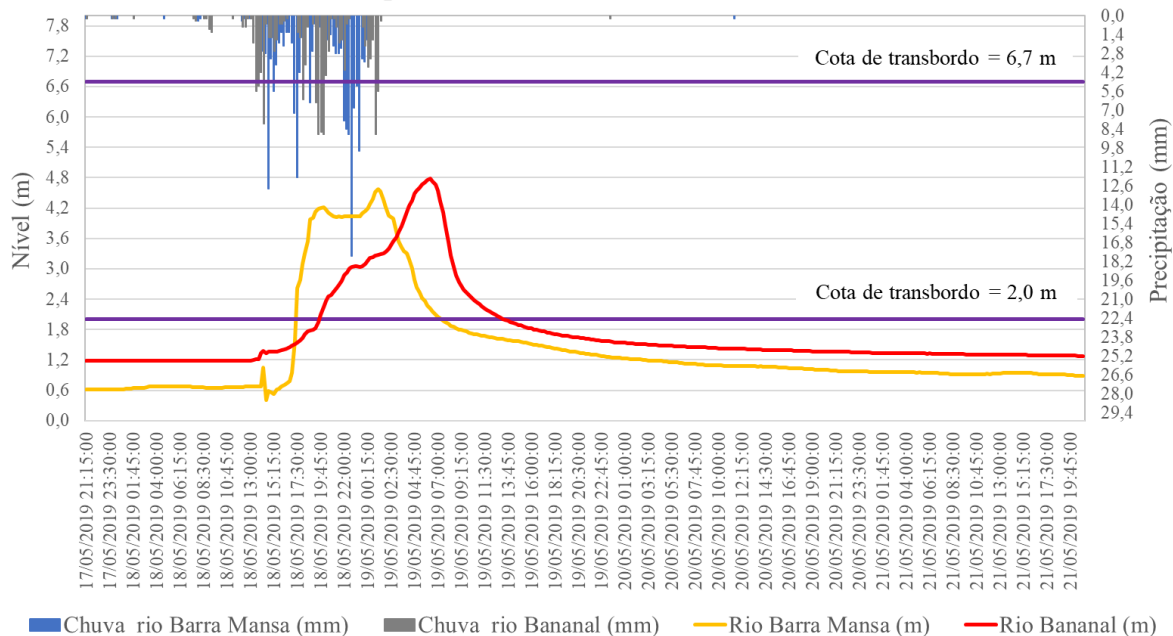
**Evento 21 - ALERTA para o rio Bananal em 17/03/2019**



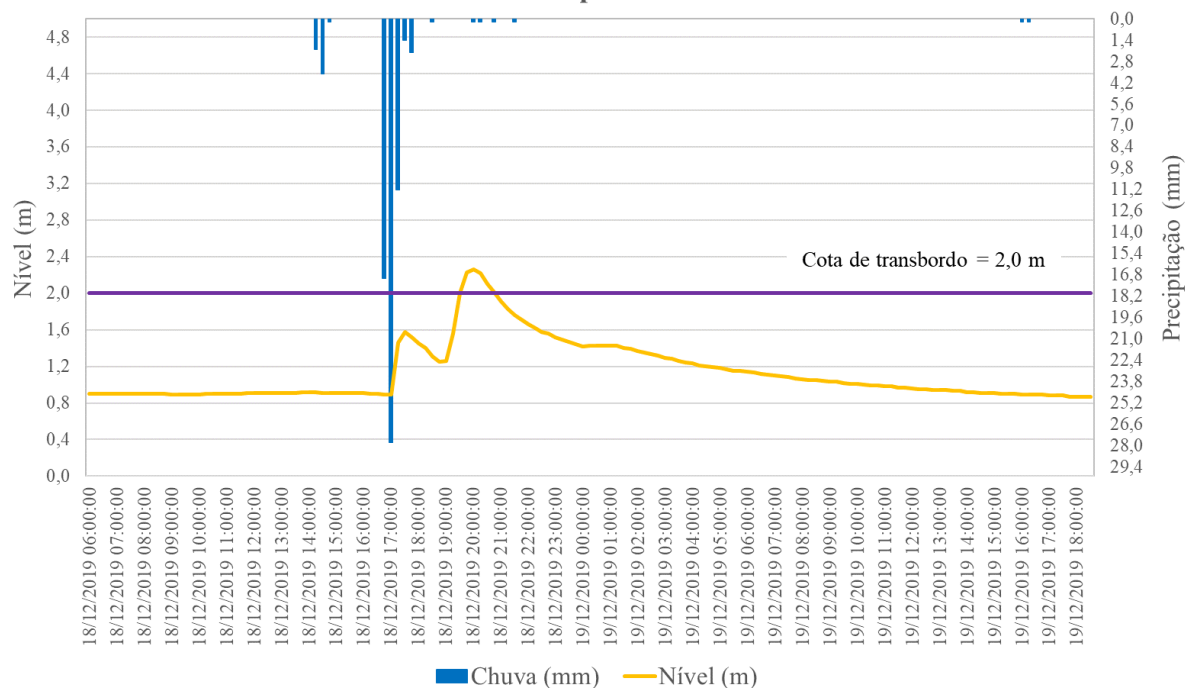
**Evento 23 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa e ALERTA para o rio Bananal em 07/04/2019**



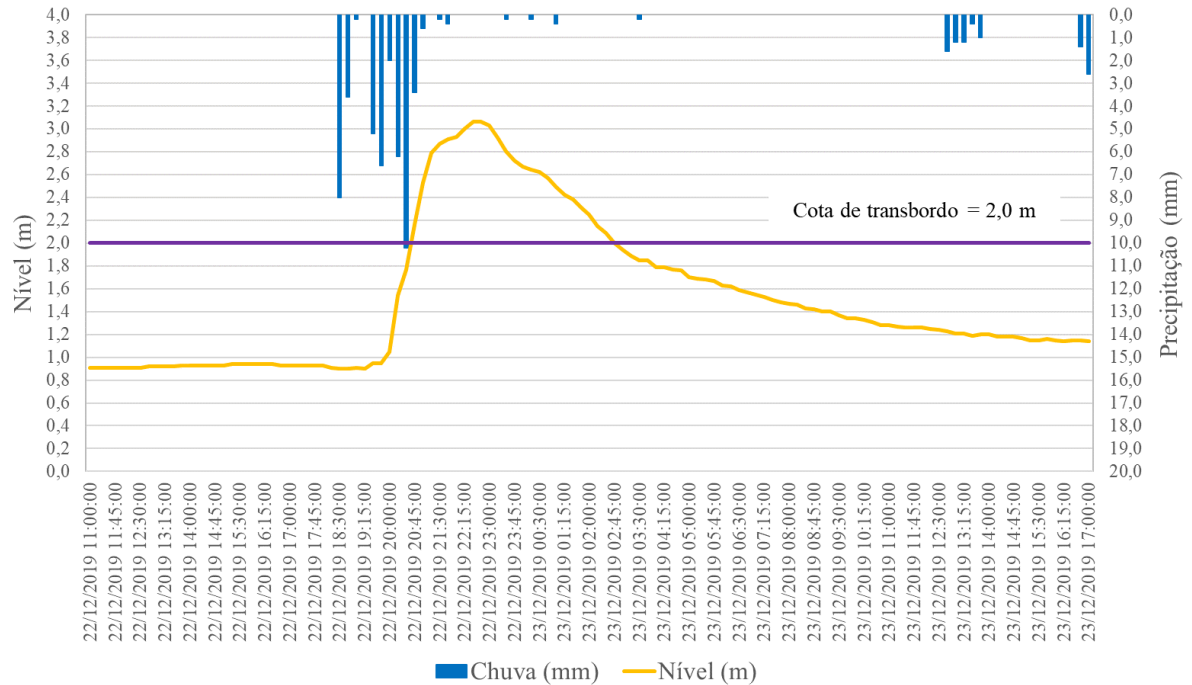
**Evento 24 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa e ALERTA para o rio Bananal em 18/05/2019**



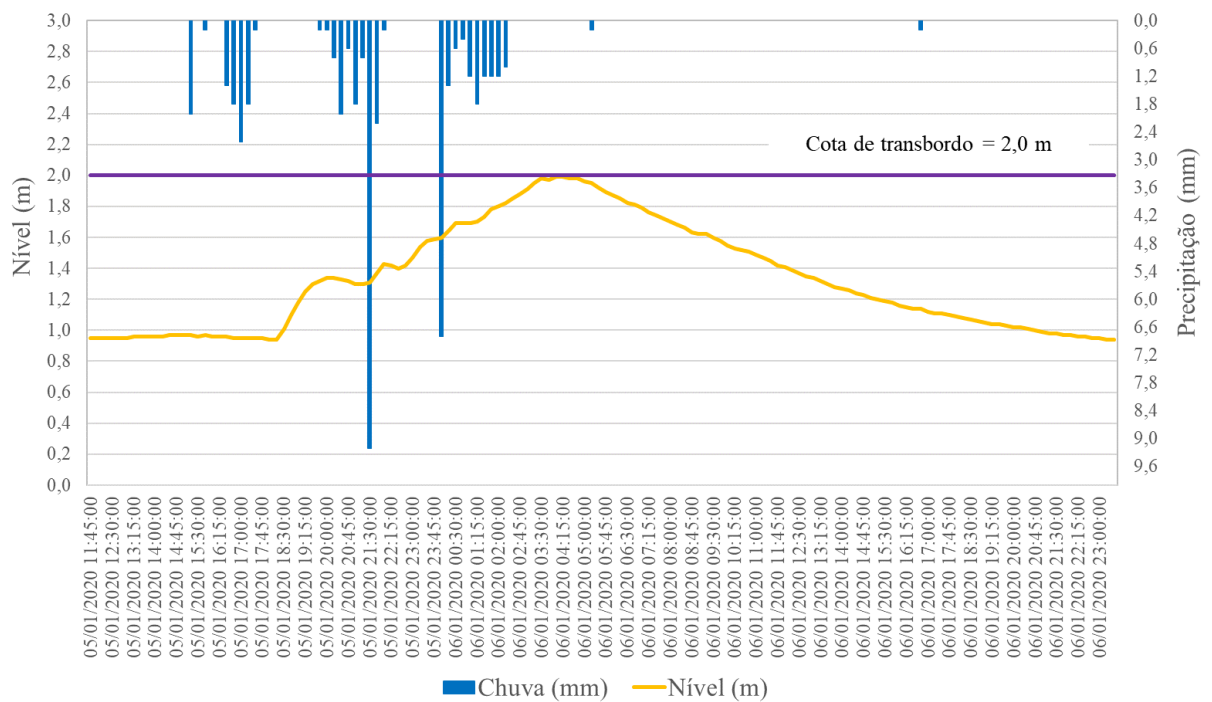
**Evento 25 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 18/12/2019**



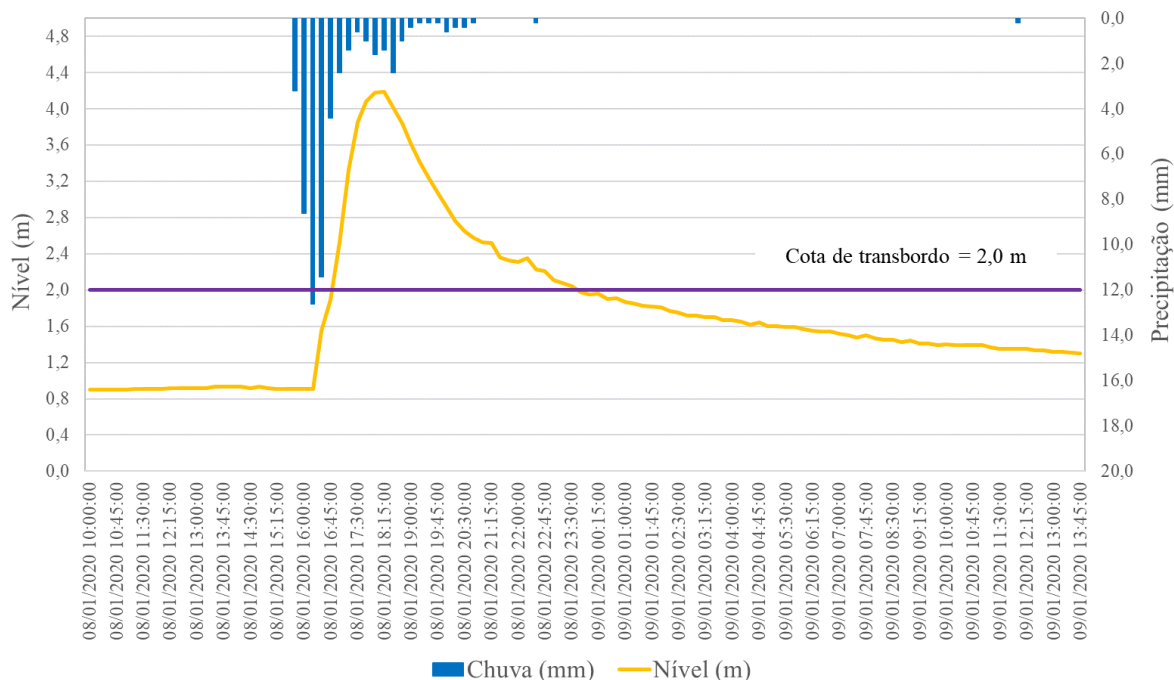
### Evento 27 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 22/12/2019



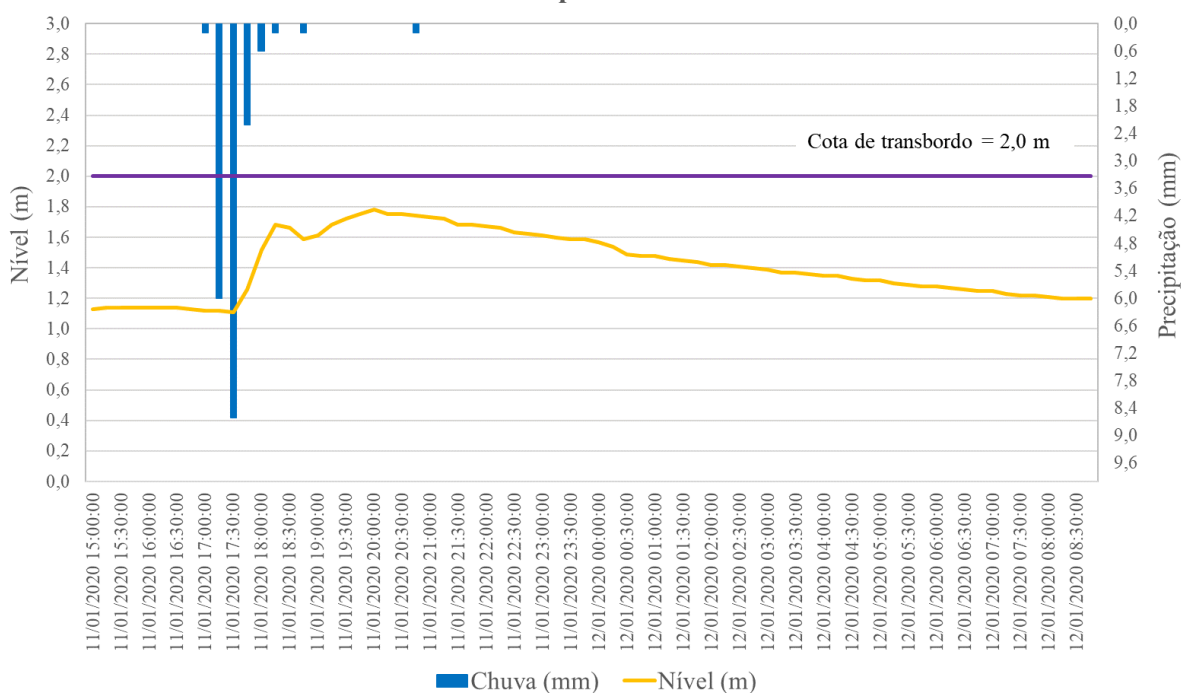
### Evento 28 - ALERTA MÁXIMO para o rio Barra Mansa em 05/01/2020



### Evento 29 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 08/01/2020

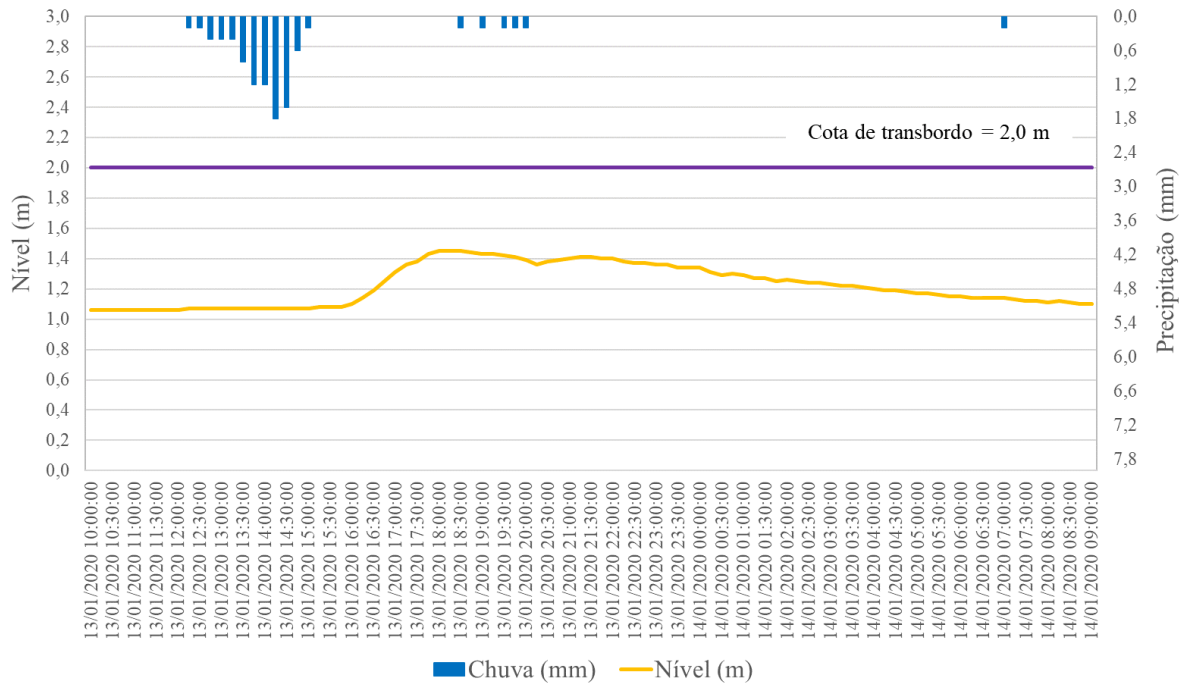


### Evento 30 - ALERTA MÁXIMO para o rio Barra Mansa em 11/01/2020

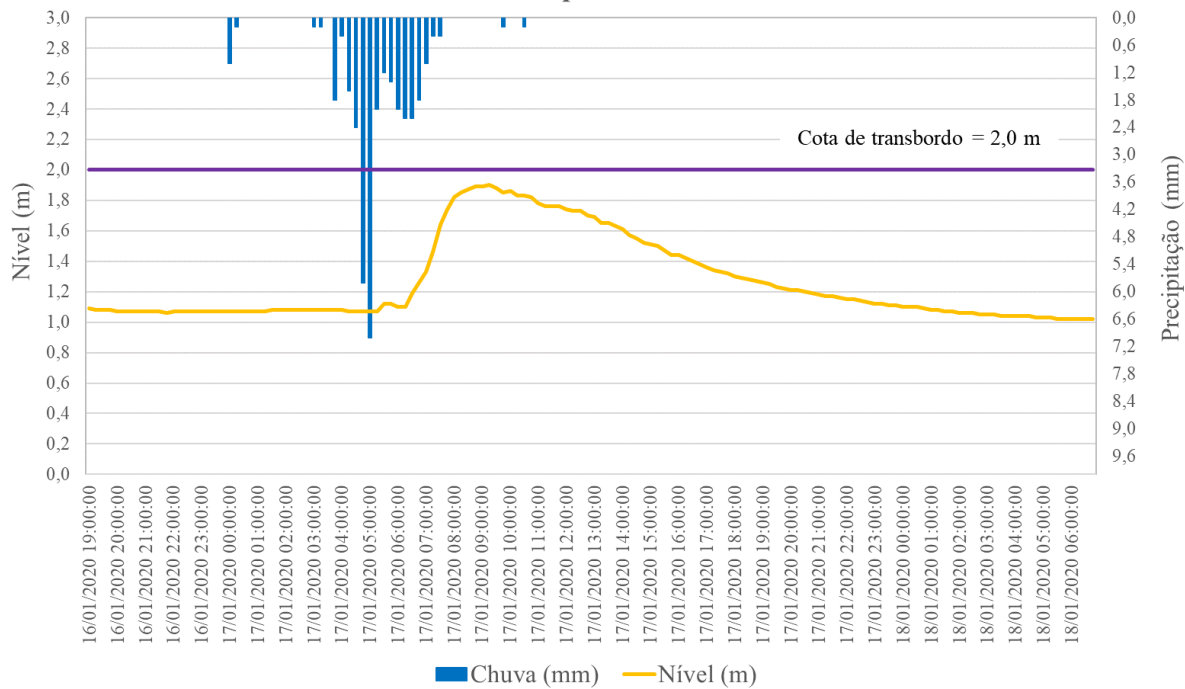




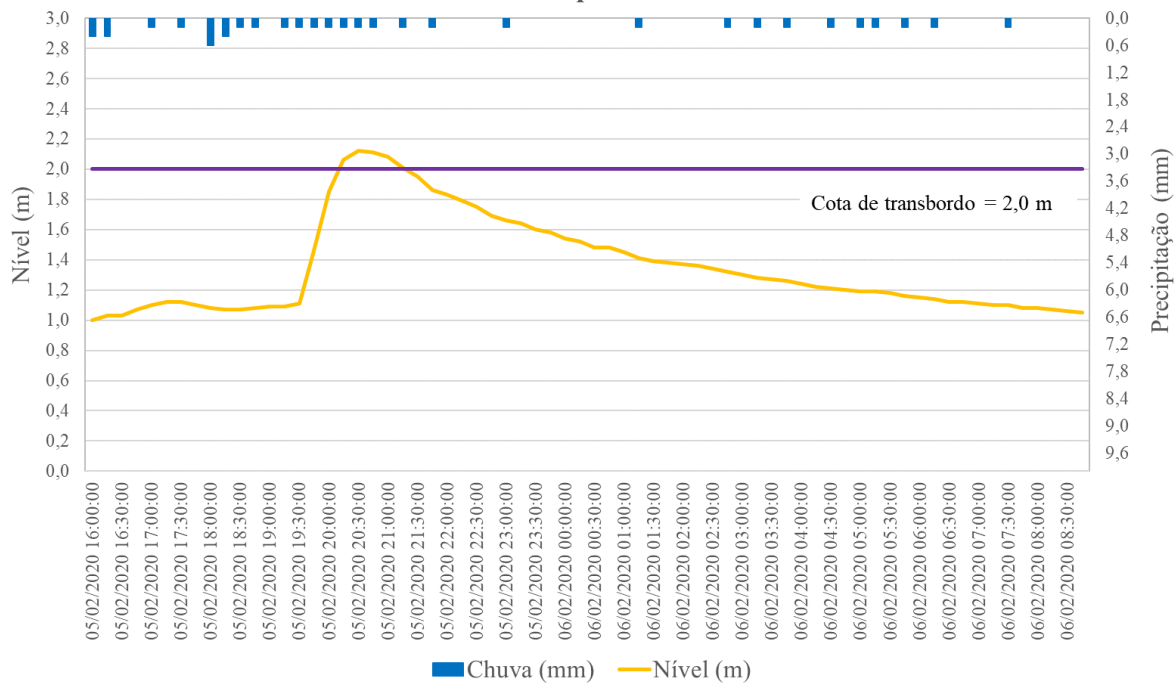
### Evento 31 - ALERTA para o rio Barra Mansa em 12/01/2020



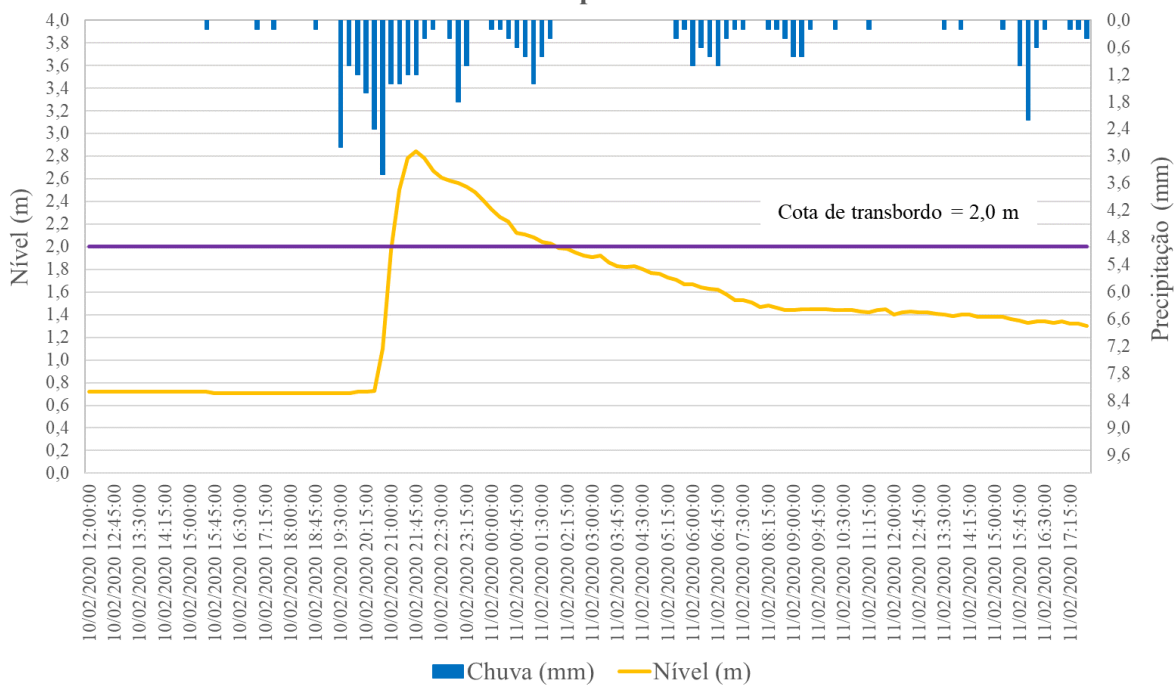
### Evento 32 - ALERTA MÁXIMO para o rio Barra Mansa em 16/01/2020



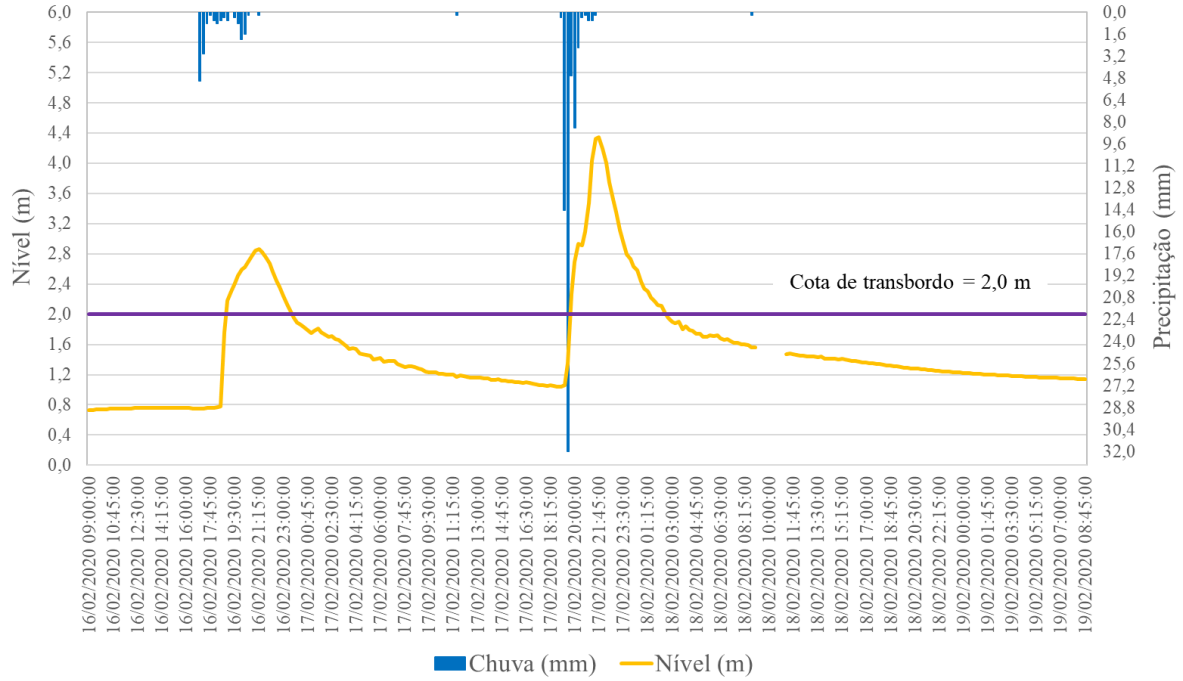
### Evento 33 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 05/02/2020



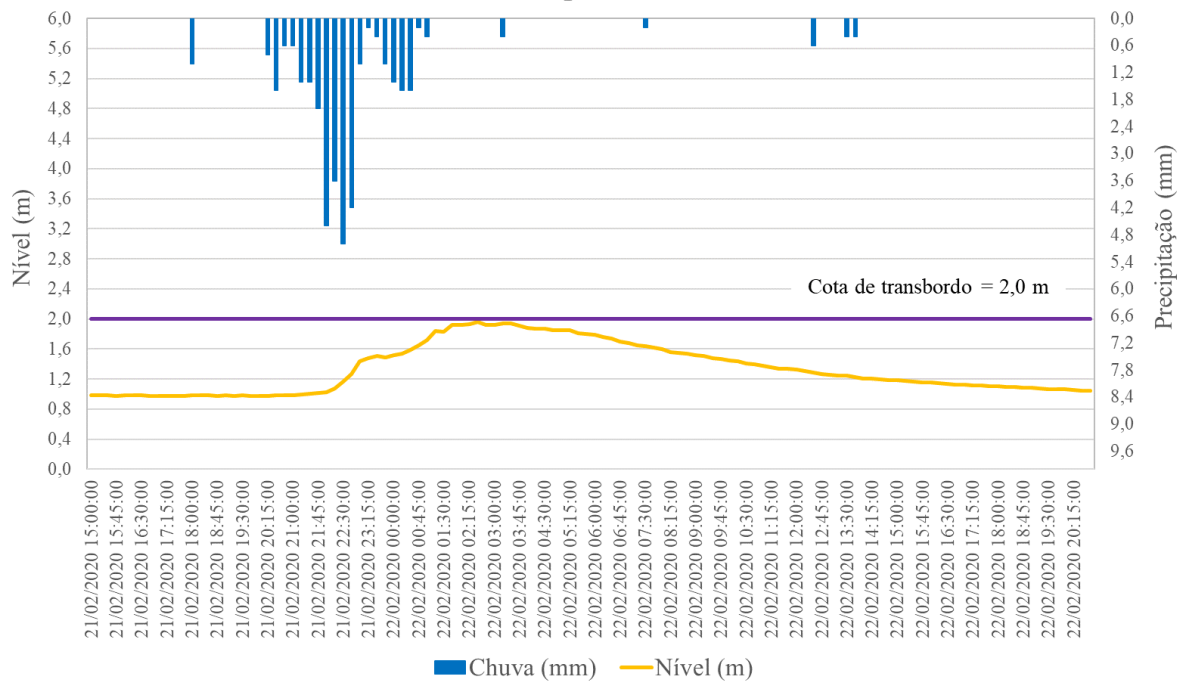
### Evento 34 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 10/02/2020



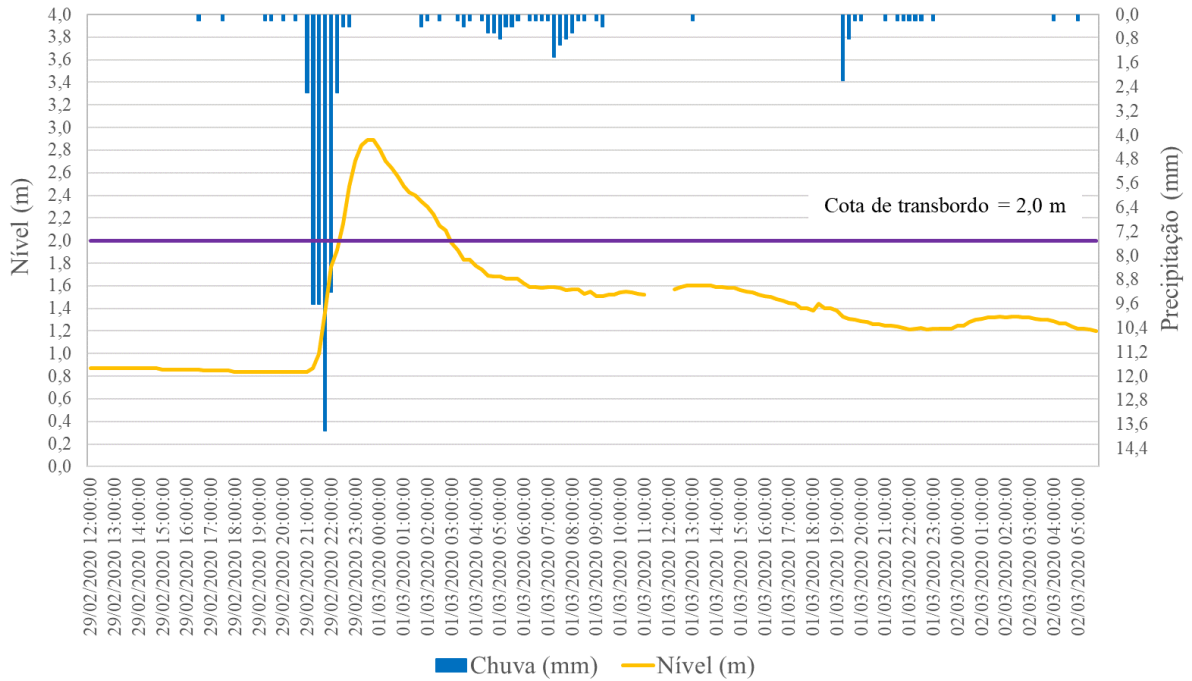
**Evento 35 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 16/02/2020**



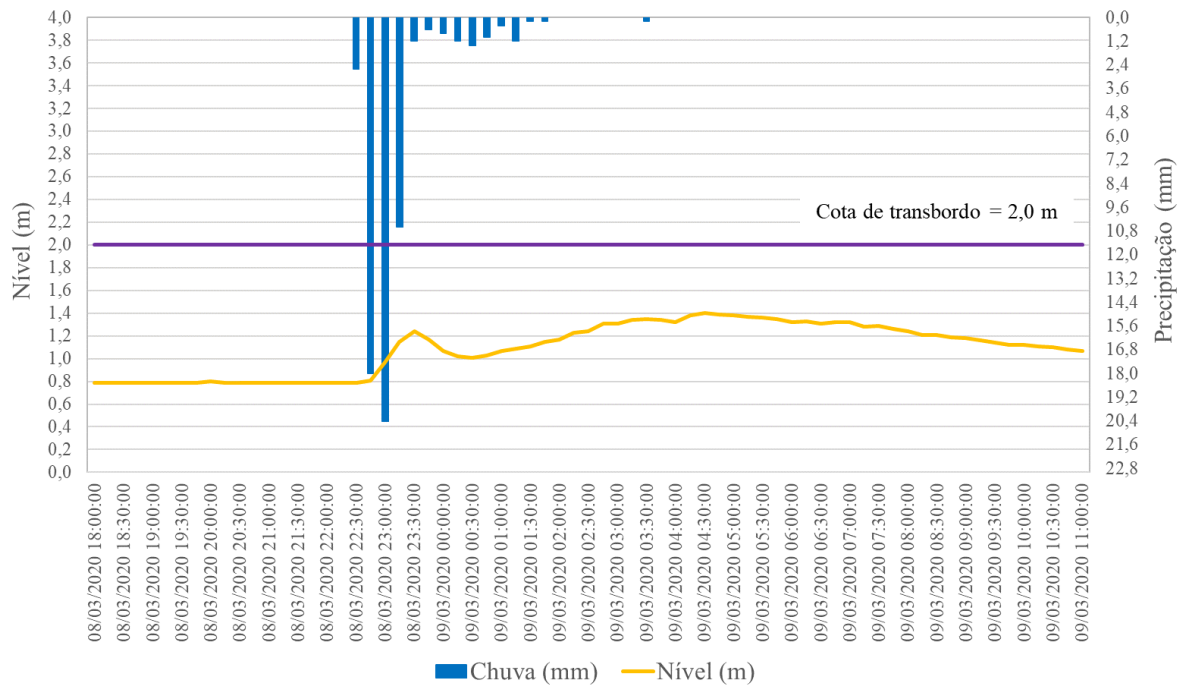
**Evento 36 - ALERTA MÁXIMO para o rio Barra Mansa em 20/02/2020**



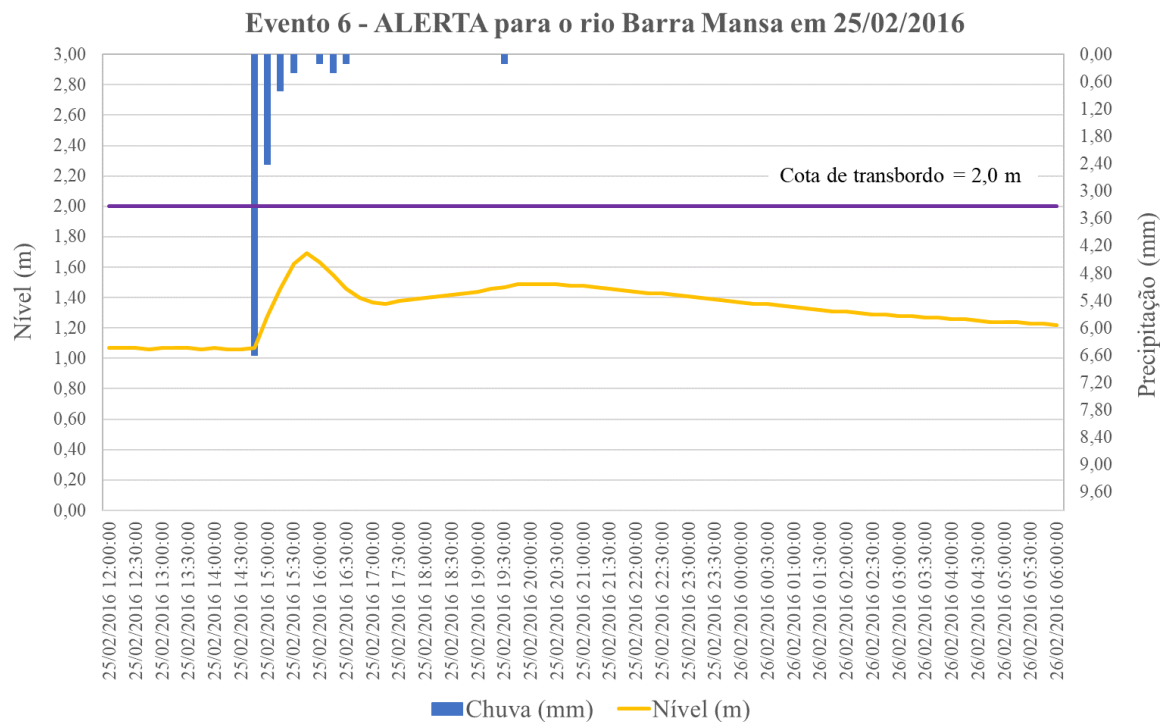
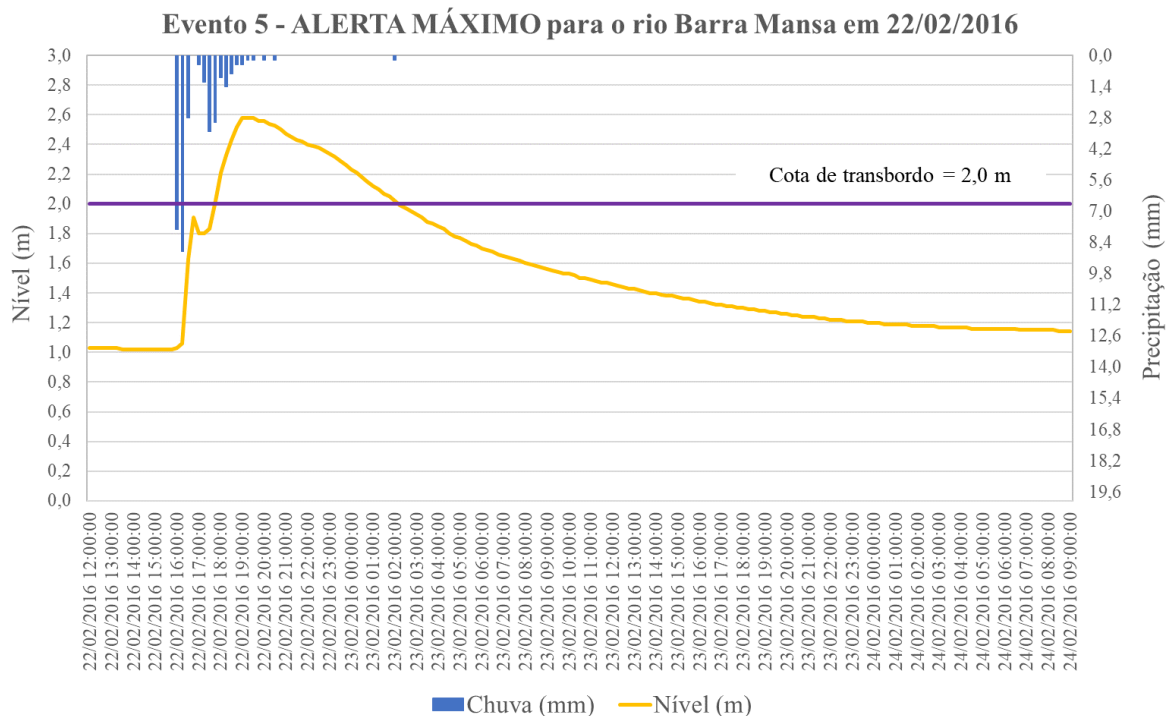
### Evento 37 - TRANSBORDAMENTO para o rio Barra Mansa em 29/02/2020



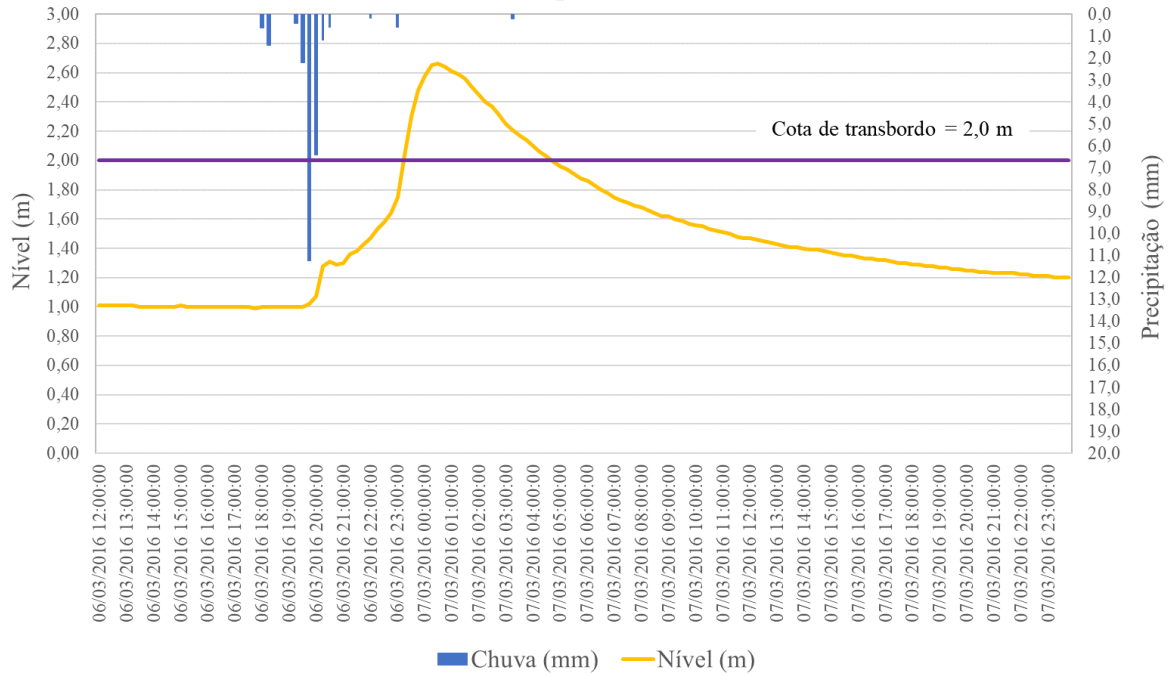
### Evento 38 - ALERTA para o rio Barra Mansa em 08/03/2020



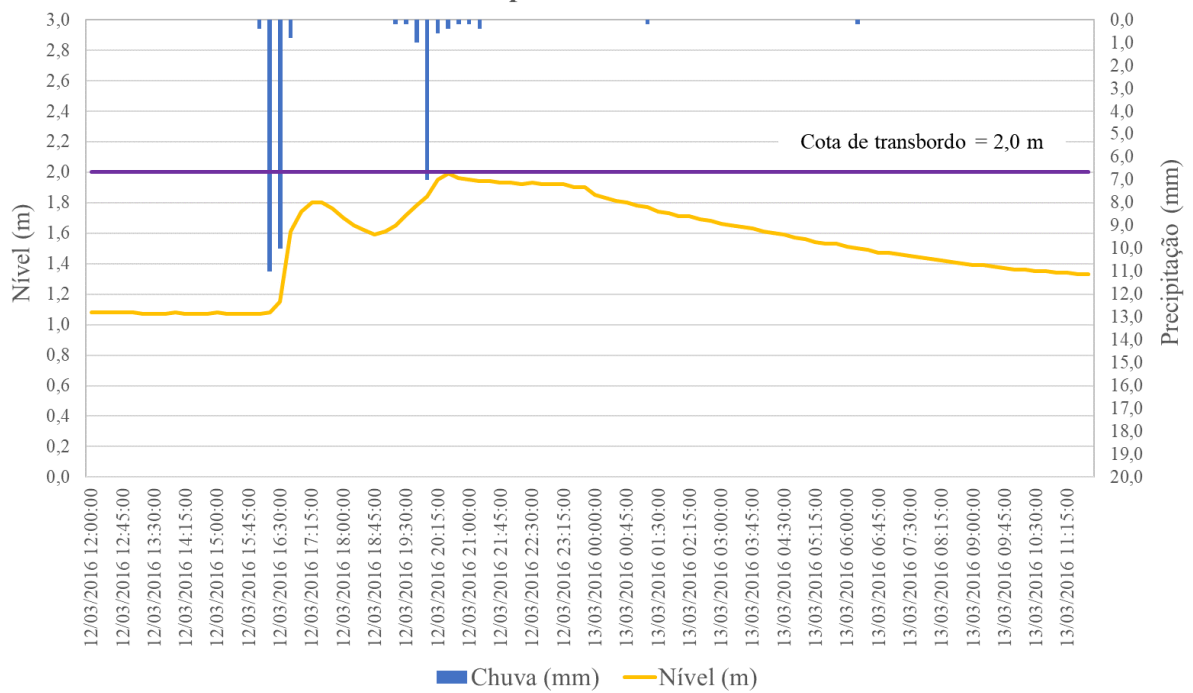
**APÊNDICE E – Cotagramas utilizados para o cálculo das variáveis hidrológicas nos casos de erro.**



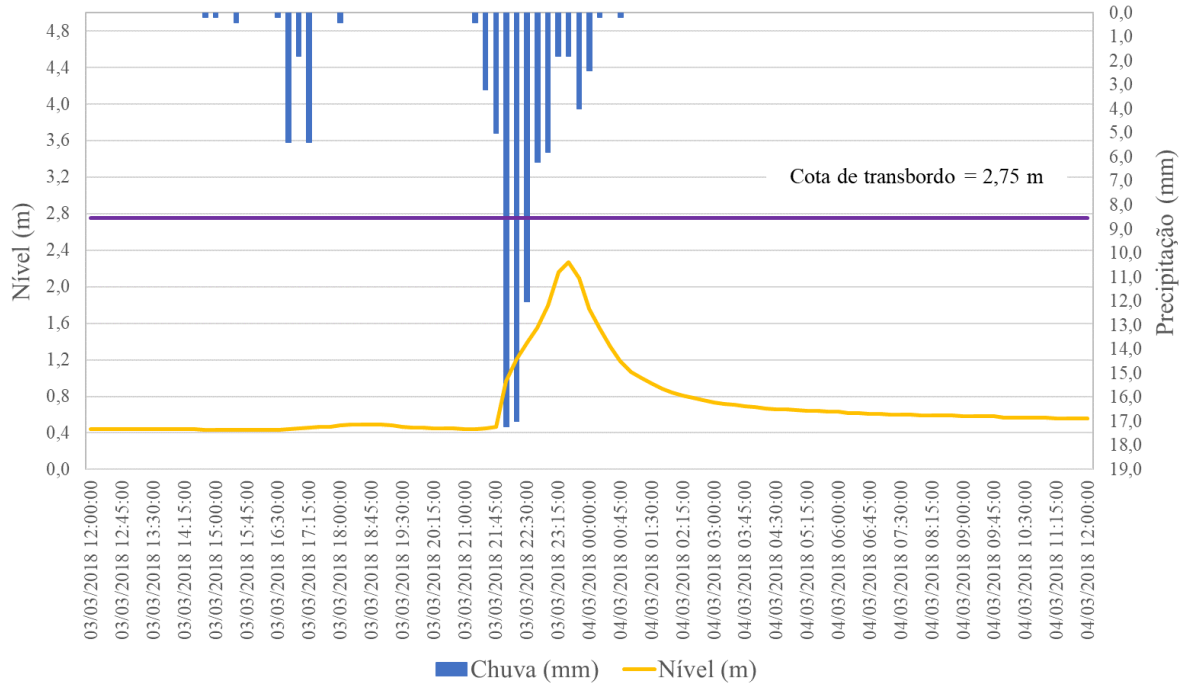
### Evento 7 - ALERTA MÁXIMO para o rio Barra Mansa em 06/03/2016



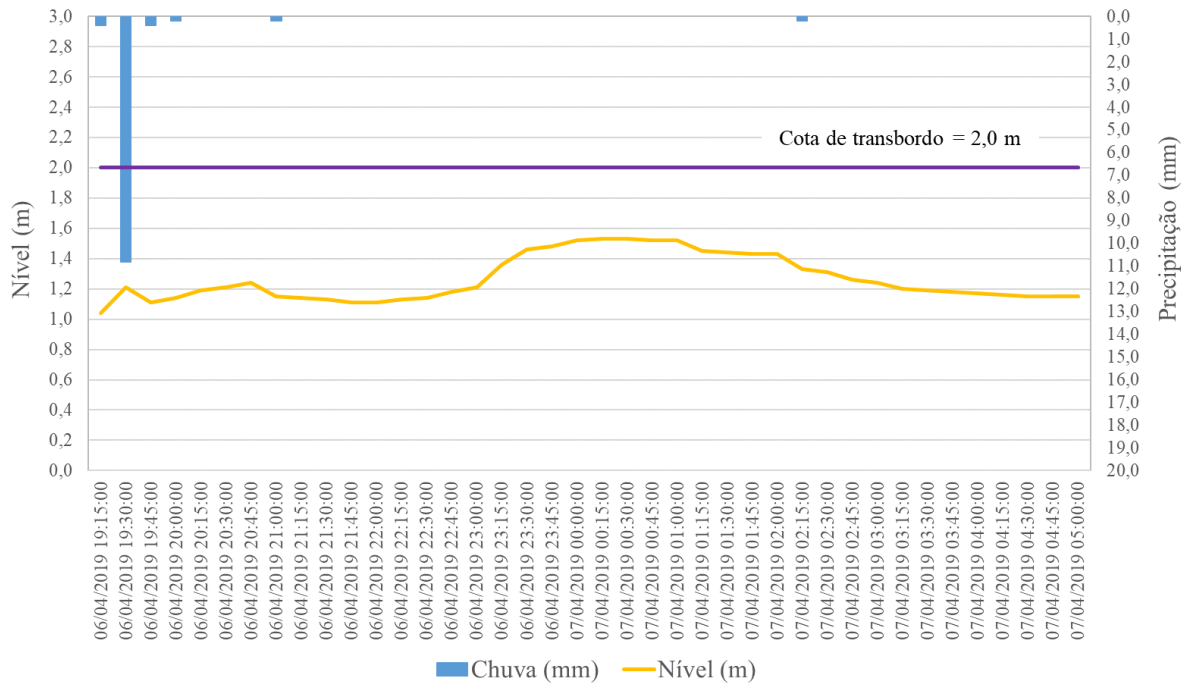
### Evento 8 - ALERTA para o rio Barra Mansa em 12/03/2016



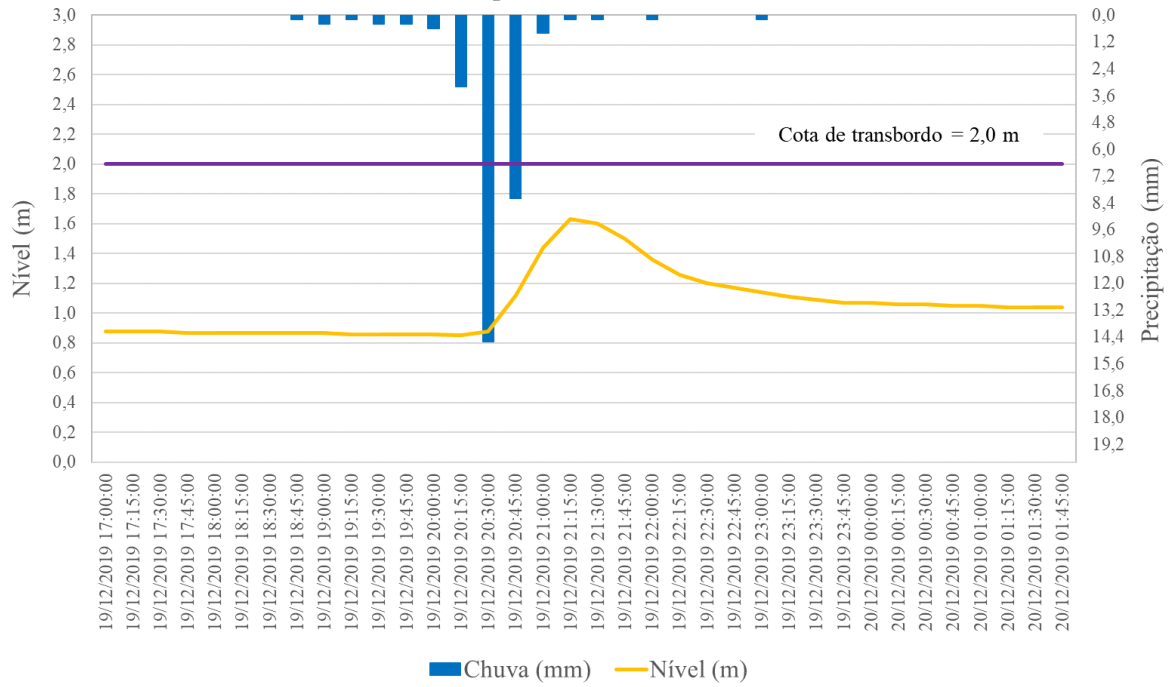
### Evento 16 - ALERTA para o rio Preto em 03/03/2018



### Evento 22 - ALERTA MÁXIMO para o rio Barra Mansa em 06/04/2019



### Evento 26 - ALERTA para o rio Barra Mansa em 19/12/2019





ANEXO I – Relação de desastres naturais ocorridos na RH-III.

Município	Grupo/tipo de desastres	Ocorrências	Fora de casa	Mortas	Afetadas	SE	ECP
Barra do Piraí	Inund	2	786	0	1.126	1	0
	Desl	2	5.007	0	1.300	0	0
	Inund-Desl	5	7.344	0	31.360	3	1
	<b>Subtotal</b>	<b>9</b>	<b>13.137</b>	<b>0</b>	<b>33.786</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
Barra Mansa	Inund	6	9.951	0	99.150	1	0
	Desl	2	8.171	0	60.171	1	0
	Inund-Desl	3	1.135	1	12.327	2	1
	Gran	2	2.665	0	64.000	0	0
	<b>Subtotal</b>	<b>13</b>	<b>21.922</b>	<b>1</b>	<b>235.648</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
C. Levy Gasparian	Inund	1	0	0	30	0	0
	Desl	1	0	0	458	1	0
	Inund-Desl	2	928	0	1.778	2	0
	<b>Subtotal</b>	<b>4</b>	<b>928</b>	<b>0</b>	<b>2.266</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
Itatiaia	Inund	1	72	0	72	0	0
	Inund-Desl	1	63	0	63	1	0
	<b>Subtotal</b>	<b>2</b>	<b>135</b>	<b>0</b>	<b>135</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Miguel Pereira	Inund	1	47	0	200	0	0
	Desl	2	152	1	875	1	0
	Inund-Desl	1	149	1	2.400	1	0
	<b>Subtotal</b>	<b>4</b>	<b>348</b>	<b>2</b>	<b>3.475</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
Paraíba do Sul	Inund	6	3.773	0	9.516	5	0
	Inund-Desl	2	492	0	6.188	2	0
	<b>Subtotal</b>	<b>8</b>	<b>4.265</b>	<b>0</b>	<b>15.704</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
Paty do Alferes	Inund	4	596	0	5.318	0	0
	Desl	5	239	0	337	1	0
	Inund-Desl	2	481	0	30.396	2	0
	Vend	1	0	0	124	0	0
	Gran	1	0	0	3.432	1	0
<b>Subtotal</b>	<b>13</b>	<b>1.316</b>	<b>0</b>	<b>39.607</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	
Pinheiral	Inund-Desl	1	44	0	44	1	0
	<b>Subtotal</b>	<b>1</b>	<b>44</b>	<b>0</b>	<b>44</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Porto Real	Inund	2	26	0	236	1	1
	<b>Subtotal</b>	<b>2</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>236</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Quatis	Inund	1	2	0	161	1	0
	Inund-Desl	1	68	0	2.030	1	0
	Vend	1	50	0	300	0	0
	<b>Subtotal</b>	<b>3</b>	<b>120</b>	<b>0</b>	<b>2.491</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
Resende	Inund	1	0	0	0	1	0
	Inund-Desl	3	2.268	1	56.568	2	1
	<b>Subtotal</b>	<b>4</b>	<b>2.268</b>	<b>1</b>	<b>56.568</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
Rio das Flores	Inund	1	52	0	1.700	0	0
	Inund-Desl	1	15	0	1.500	1	0
	Gran	1	0	0	465	1	0
	<b>Subtotal</b>	<b>3</b>	<b>67</b>	<b>0</b>	<b>3.665</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
Três Rios	Inund	5	2.757	0	29.656	1	0
	Desl	1	150	0	1.054	1	0
	Inund-Desl	2	1.599	0	35.057	2	0
	<b>Subtotal</b>	<b>8</b>	<b>4.506</b>	<b>0</b>	<b>65.767</b>	<b>4</b>	<b>0</b>

continua

Município	Grupo/tipo de desastre	Ocorrências	Fora de casa	Mortas	Afetadas	SE	ECP
Valença	Inund	3	25	0	10.033	1	0
	Desl	2	84	0	351	0	0
	Inund-Desl	2	271	4	271	1	0
	<b>Subtotal</b>	<b>7</b>	<b>380</b>	<b>4</b>	<b>10.655</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
Volta Redonda	Desl	1	22	0	22	0	0
	Gran	2	8	0	360	0	0
	<b>Subtotal</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>382</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Total por grupo de desastres</b>	<b>Inund</b>	<b>37</b>	<b>18.087</b>	<b>0</b>	<b>157.198</b>	<b>12</b>	<b>1</b>
	<b>Desl</b>	<b>15</b>	<b>13.825</b>	<b>1</b>	<b>64.568</b>	<b>5</b>	<b>0</b>
	<b>Inund-Desl</b>	<b>24</b>	<b>14.857</b>	<b>7</b>	<b>179.982</b>	<b>21</b>	<b>3</b>
	<b>Vend</b>	<b>2</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>424</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Gran</b>	<b>6</b>	<b>2.673</b>	<b>0</b>	<b>68.257</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>Total da RH-III (Médio Paraíba do Sul)</b>		<b>84</b>	<b>49.492</b>	<b>8</b>	<b>470.429</b>	<b>40</b>	<b>4</b>

Fonte: Dados da Defesa Civil organizados e analisados neste estudo.

Inund = Inundações; Desl = Deslizamentos; Inund+Desl = Inundações e Deslizamentos; Vend = Vendavais; Gran = Granizos; SE - situação de emergência e ECP - estado de calamidade pública, reconhecidos em decretos estaduais e/ou portarias federais. Fora de casa = desalojadas, desabrigadas e/ou deslocadas.

## ANEXO II – Características das sub-bacias da RH-III.

- **Bacia do Rio Paraíba do Sul:** O rio Paraíba do Sul tem sua nascente em São Paulo e o seu curso médio atinge o estado do Rio de Janeiro, onde o escoamento praticamente se inicia com as vazões regularizadas do reservatório da Usina Hidrelétrica de Funil. O seu percurso dentro da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, que se estende desde a barragem da Usina Hidrelétrica de Funil até a confluência dos rios Piabanha e Paraibuna, em Três Rios, o rio Paraíba do Sul atravessa diversas cidades, sendo estas: Resende, Barra Mansa, Volta Redonda, Barra do Piraí, Paraíba do Sul e Três Rios. Essa região costuma sofrer com inundações voltadas para os centros urbanos ribeirinhos ao curso da bacia, principalmente nas cidades de Barra Mansa, Volta Redonda e Barra do Piraí. Na cidade de Três Rios, as inundações estão associadas ao efeito de remanso nos trechos finais da região de drenagem do rio Paraíba do Sul.

- **Bacia do Córrego Santo Antônio:** O rio Santo Antônio ou Córrego da Cazunga, possui área de drenagem com cerca de 22 km<sup>2</sup>. Sua nascente está localizada no Parque Nacional de Itatiaia e a sua foz na margem esquerda do rio Paraíba do Sul, a jusante da cidade de Itatiaia. Parte de seu percurso se encontra em região rural e parte desemboca no centro urbano de Itatiaia. Na parte urbana, o rio apresenta configuração bastante sinuosa, com curvas de raio curto, favorecendo o transbordamento em áreas marginais, trazendo prejuízos não só para os bairros ribeirinhos, mas para a circulação de veículos nas vias de acesso ao centro da cidade.

- **Canal Periférico e Canal Central / Ribeirão Preto:** Estes três cursos de água formam o sistema de macrodrenagem da região de Grande Alegria, situada a sudoeste da cidade de Resende. O processo de crescimento da ocupação irregular nas partes mais altas das bacias, atualmente ocupa uma área cujas dimensões se equiparam ao núcleo central da cidade de Resende. O canal Periférico, que possui área de drenagem de cerca de 4,2 km<sup>2</sup>, foi concebido para escoar uma parcela substancial das vazões de cheia que, originalmente, eram conduzidas à bacia do canal Central/Ribeirão Preto, infelizmente sendo um sistema ineficiente. Os locais mais afetados pelas inundações localizam-se nos bairros da Cidade Alegria, Itapuca e Baixada da Olaria.

- **Bacia do Rio Sesmaria:** O rio Sesmaria possui área de drenagem de cerca de 150 km<sup>2</sup>, e suas nascentes localizam-se no município de São José do Barreiro (São Paulo), próximo à divisa com o estado do Rio de Janeiro. Possui extensão rural de cerca de 16 km até chegar à cidade de

Resende, percorrendo cerca de 2,7 km de extensão até a foz, localizada na margem direita do rio Paraíba do Sul. As inundações no município de Resende estão associadas ao rio Sesmaria, que afetam diretamente os bairros ribeirinhos de Parque Ipiranga, Jardim Brasília, Barbosa Lima e Jalisco.

- **Bacia do Rio Bananal:** Este rio possui cerca de 528 km<sup>2</sup>. É a sub-bacia de maior porte dentre os afluentes do Paraíba do Sul que atravessam áreas urbanas da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Tem sua nascente no estado de São Paulo e sua foz na margem direita do rio Paraíba do Sul, no município de Barra Mansa. Os locais afetados pelas inundações do rio Bananal estão localizados nas proximidades da rodovia Presidente Dutra, influenciada pela ocupação irregular das margens do rio, e junto a sua foz, por conta do efeito de remanso das águas do rio Paraíba do Sul, atingindo os bairros de Vila Maria, Saudade e Santa Maria II

- **Bacia do Rio Bocaina:** Este rio possui área de drenagem de aproximadamente 210 km<sup>2</sup>. Sua nascente está localizada na Serra da Carioca, no município de Bananal – SP, com foz no rio Paraíba do Sul, na região de Barra Mansa -RJ. Os problemas relacionados à ocorrência de inundações neste rio afetam os bairros de Bocaininha e Siderlândia.

- **Bacia do Córrego Cotiara:** possui sua nascente no bairro São Genaro, município de Barra Mansa, e percorre cerca de 10 km até a sua foz na margem direita no rio Paraíba do Sul. Este rio também apresenta problemas na região urbana, no trecho que vai da foz até a montante da rodovia Presidente Dutra, local onde a ocupação irregular das áreas marginais do curso d'água reduzem a seção de escoamento, favorecendo a ocorrência das inundações.

- **Bacia do Rio Barra Mansa:** Este rio possui cerca de 103 km<sup>2</sup> de área de drenagem. Tem sua nascente na serra da Carioca, próximo ao limite dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo e a sua foz no rio Paraíba do Sul, na cidade de Barra Mansa. Suas margens são um vetor de expansão urbana da cidade de Barra Mansa, que se prolonga da foz para montante numa extensão de cerca de 6 km. Os locais mais castigados, são as faixas marginais no trecho a montante da rodovia Presidente Dutra, nos bairros Nova Esperança e São Luís e a jusante da rodovia Presidente Dutra no bairro Boa Sorte.

- **Bacia do Ribeirão Brandão:** Trata-se de um córrego cuja nascente localiza-se em Petulância,

no município de Rio Claro e se desenvolve no sentido norte para a sua foz no rio Paraíba do Sul, sendo divisa entre Barra Mansa e Volta Redonda até as proximidades do limite urbano de Volta Redonda, desaguando na margem direita do rio Paraíba do Sul. Na região urbana de Volta Redonda, o Ribeirão Brandão recebe, na região Central, a contribuição do córrego Cachoeirinha (também conhecido como córrego Brandãozinho), sendo ambos responsáveis pela macrodrenagem da cidade e que têm apresentado problemas de inundação. Os bairros de Santa Cecília, Sessenta e Siderópolis, costumam ser o mais atingidos na região.

**- Bacia do Rio Pirai:** O rio Pirai desempenha um importante papel sobre a Região Hidrográfica do Guandu, pois sua vazão é desviada a partir da barragem de Santana. Por conta disso, seu trecho a jusante da barragem contribui para a Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, apesar de sua bacia estar incluída na Região Hidrográfica do Guandu. A ocupação desordenada das margens ocorre da barragem de Santana até a foz na margem direita do rio Paraíba do Sul, e a população ribeirinha é a mais vulnerável as consequências das inundações ou das descargas na barragem de Santana.