

**CONSTRUÇÃO DOS COTAGRAMAS DAS ESTAÇÕES DO SISTEMA DE
MONITORAMENTO DE ENCHENTE – SME, NO EVENTO DE INUNDAÇÃO DO
ANO DE 2000**

**Alexandre Germano Marciano¹; Ana Paula Moni Silva²; Alexandre Augusto Barbosa³,
Lucas Keidi Noguti⁴**

¹ agermano@unifei.edu.br

² anamoni@unifei.edu.br

³ barbosa@unifei.edu.br

⁴ japalucas32@gmail.com

RESUMO

Cotagramas são representações gráficas da variação de nível d'água num corpo hídrico em função do tempo. São utilizados para explicar resultados de um evento de uma precipitação ou uma contribuição de um aquífero numa bacia hidrográfica. O evento de inundação do ano de 2000 na cidade de Itajubá-MG, causou muitos danos. Após esse evento foi criado o Sistema de Monitoramento de Enchente – SME, com os objetivos de gerar informações de natureza, intensidade e duração dos eventos de cheias à comunidade. Foram construídas estações fluviométricas. Os dados coletados pelas estações são apresentados na maioria das vezes em função do tempo. Este trabalho tem o intuito de servir como base para outros estudos, sendo assim, foram elaborados os cotagramas do evento de inundação do ano de 2000 das estações a montante de Itajubá. Para isso foi necessário pesquisar o histórico de cheia das estações Borges, Santana, Água Limpa, Anhumas, José Pereira e Piranguçu, no SME, entrevistar os moradores e os técnicos do Laboratório de Informações Hídricas – LIH para construir as planilhas dos cotagramas das estações. Ficou constatado que a inundação do ano de 2000, teve dois picos de cheias, sendo o segundo gerado no declínio da curva. Os cotagramas se mostraram válidos quando foram cruzados entres eles, mas não se pode julgar fidedigno devido a uma série de variáveis concretas e abstratas não inclusas no trabalho.

Palavras chave: Cotagramas, Rio Sapucaí, Estações de Monitoramento de Enchentes.

CONSTRUCTION OF COTAGRAMS OF THE STATIONS OF THE FLOOD MONITORING SYSTEM - SME, IN THE FLOOD EVENT OF THE YEAR 2000

ABSTRACT

Cotagrams are graphical representations of the water level variation in a water body as a function of time. They are used to explain the results of an event of a precipitation or a contribution of an aquifer in a river basin. The flood event of the year 2000 in the city of Itajubá-MG caused a lot of damage. After this event, the Flood Monitoring System (SME) was created, with the objective of generating information about the nature, intensity and duration of flood events in the community. Fluviometric stations were constructed. The data collected by the stations are presented most of the time as a function of time. This work intends to serve as a basis for other studies, and thus, the cotagrams of the flood event of the year 2000 of the stations upstream of Itajubá were elaborated. In order to do this, it was necessary to search the flood records of Borges, Santana, Água Limpa, Anhumas, José Pereira and Piranguçu stations in the SME, to interview the residents and technicians of the Water Information Laboratory (LIH) to construct the spreadsheets of the station cotagrams. It was verified that the flood of the year 2000, had two peaks of floods, being the second generated in the decline of the curve. The cotagrams were valid when they were crossed between them, but can not be trusted because of a series of concrete and abstract variables not included in the work.

Keywords: Cotagrams, River Sapucaí, Flood Monitoring Stations.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Sapucaí é umas das principais bacias hidrográficas do Sul de Minas, envolvendo 98 municípios, sendo eles 3 paulistas da mesorregião do Vale do Paraíba e 95 mineiros da mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas. Integra a bacia hidrográfica do Rio Grande, que por sua vez, integra a bacia hidrográfica do rio Paraná, desaguando na bacia hidrográfica do rio do Prata no oceano Atlântico, entre os países da Argentina e do Uruguai.

O município de Itajubá/MG está localizado no final da parte alta da bacia do rio Sapucaí, sendo sua área urbana dividida ao meio por este curso d'água. Os afluentes que formam a malha fluvial da cidade são o ribeirão José Pereira, que surge da Serra da Água Limpa, o ribeirão das Anhumas, da Serra do Pouso Frio, o rio Piranguçu, do município de Piranguçu – MG, e o córrego da Água Preta (nome popular), do bairro rural Capetinga.

Itajubá possui um histórico de inundações, eventos de pequeno, médio e grande porte, registrados ao longo das últimas décadas. Moraes (2003) e Pinheiro (2005) fizeram levantamentos das inundações dentro da cidade de Itajubá, através de entrevistas com moradores, fotos históricas e recortes de jornais. Desde o primeiro registro em 1821 até 2000 foram catalogados 74 eventos de inundações. O evento ocorrido em janeiro de 2000 possui registro das estações pluviométricas, onde as precipitações na cabeceira dos rios Sapucaí, Lourenço Velho e Santo Antônio atingiram mais de 500 mm nos dias 2, 3 e 4 de janeiro e na cidade de Itajubá atingiu 350 mm. Causando inundações de grandes magnitudes na bacia hidrográfica como um todo. O nível do rio Sapucaí ultrapassou a marca dos 8 metros, atingindo a cota altimétrica de 847,44 m na estação-base Santa Rosa, segundo Pinheiros (2005). Barbosa et al. (2000) relata que a inundação de 2000, ainda está na memória dos moradores, alguns moradores perderam tudo, inclusive suas moradias e 80% da população urbana foi atingida.

Após o ano de 2000, visando diminuir os riscos e os prejuízos causados pelas inundações, o governo municipal e algumas entidades públicas implantaram algumas medidas para o controle das inundações propiciando o desenvolvimento urbano. Segundo Tucci (1995), essas medidas podem ser classificadas em estruturais, quando o homem modifica o rio, e em não-estruturais, quando o homem convive com o rio. Medidas estruturais são as obras hidráulicas como barragens, diques e canalização, entre outros, e as medidas não estruturais são as ações preventivas, como zoneamento de áreas de inundação, sistema de alerta e seguro contra enchentes.

As medidas não-estruturais defendem, na sua concepção, a melhor convivência da população com as cheias. Para que estas medidas se tornem, de fato, eficazes, a participação conjunta entre o poder público e a comunidade local é fundamental, de modo que garanta uma

convivência tranquila sem prejuízos materiais e, principalmente, perdas humanas (TUCCI, 1995).

O estudo hidráulico e hidrológico do rio fornecem dados que são capazes de gerar, informações que subsidiam estudos comportamento da bacia, assim como previsão de cenários futuros. Esses estudos dão base para a criação de um sistema de monitoramento e previsão de alerta, que podem ser utilizados para alertar a população com antecedência sobre um evento de inundação. Esses alertas de enchentes complementados com as medidas de emergência irão reduzir significativamente os prejuízos causados pelas inundações (ENOMOTO 2004).

Na Europa, para prevenir e mitigar os danos causados pelas recorrentes inundações em bacias transnacionais, foi criado o *European Flood Awareness System* (EFAS) pela União Europeia (UE) que é um sistema de sensores que fornece informações hidrológicas em tempo real. O objetivo é prover alertas com antecedência para a tomada de decisões (THIELEN et al., 2009).

No Brasil, algumas bacias hidrográficas possuem coleta de dados (nível fluviométrico e precipitação). Esses dados coletados são usados para compor um sistema de monitoramento e alerta de inundações em tempo real. Mas para se ter um pleno funcionamento desse sistema, é necessário a utilização de modelos hidrológicos e hidráulicos, que permita simulação e representação do movimento da água (OLIVO, 2004).

No ano de 2001 logo após o evento de inundação do ano de 2000, foi criado o Sistema de Monitoramento de Enchente – SME em parceria entre a Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, e a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA. O SME foi desenvolvido e patentado pela equipe do Professor Alexandre Augusto Barbosa. Inicialmente era constituído por uma estação localizada na captação da COPASA, e ela continha: sonda de pressão – media a variação do nível d'água; Pluviômetro de báscula – media a quantidade e a intensidade de chuvas; Placa fotovoltaica – que alimentava o sistema e; Modem 3G – que enviava os dados via *Short Message Service* – SMS. Os objetivos desse sistema eram gerar informações de natureza, intensidade e duração dos eventos de cheias à comunidade, além de soluções não usuais para a problemática das enchentes (MARCIANO et al. 2018).

Em 2009, foram instaladas 5 estações à montante da cidade de Itajubá e 2 dentro da cidade. E com o seguimento dos trabalhos, mais 11 estações foram instaladas no ano de 2011, completando o SME. Em janeiro de 2015, o SME foi desativado, porém foram mantidas 6 estações para pesquisas acadêmicas, que prosseguiram até setembro do mesmo ano, quando foram desmontadas.

Os dados coletados pelo sensor de pressão são apresentados na maioria das vezes em função do tempo, formando um cotograma. Segundo a definição da SEMA-PA (2015), o cotograma é a representação gráfica da variação do nível de água no corpo hídrico ao longo do tempo. Pode-se entender como a resposta da bacia hidrográfica, por um evento de uma precipitação ou uma contribuição de um aquífero, em função de suas características fisiográficas. Além disso, o cotograma pode ser usado na modelagem hidráulica, como a simulação do escoamento não permanente.

A pesquisa desenvolvida por este trabalho apresentará os cotograma do evento de inundação do ano de 2000, com intuito de elaborar novos trabalhos, como a simulação hidrodinâmica, o mapeamento das áreas alagáveis deste evento e preparando para um modelo de previsão vazão-vazão desta área de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O rio Sapucaí nasce na Serra da Mantiqueira, no município de Campos de Jordão – SP, na altitude aproximada de 1.680 m, desagua no Rio Grande, entre os municípios de Guapé, Passos e Guaxupé, na altitude aproximada de 760 m. Atravessa dois estados, percorrendo 34 km no estado de São Paulo e 371 km no estado de Minas Gerais.

Para a gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Grande, foi necessário a divisão em 8 partes (Comitês de Bacias Hidrográficas - CBH), delimitando politicamente e geograficamente. Para atender essa demanda a bacia do rio Sapucaí passou a ter exutório no reservatório de Furnas.

Pela base cartográfica do IBGE (2007), a bacia hidrográfica do rio Sapucaí está dividida em três trechos geopolíticos:

- Alto Sapucaí, inicia no município de Campos do Jordão – SP e vai até a confluência do rio Vargem Grande no município de Piranguinho – MG;
- Médio Sapucaí, inicia no município de Santa Rita do Sapucaí – MG e vai até o município de Careaçú – MG;
- Baixo Sapucaí, inicia no município de São Gonçalo do Sapucaí – MG até desaguar na represa de Furnas no município de Paraguaçu – MG.

A área de estudo do presente artigo é o trecho que pertence à bacia do Alto Sapucaí, entre a nascente do rio Sapucaí até a confluência do rio Piranguçu.

Construção dos Cotagramas

Para montagem dos cotagramas das estações foi necessário dividi-lo em três etapas: Etapa 1 – consistia na pesquisa do histórico de cheia das estações Borges, Santana, Água Limpa, Anhumas, José Pereira e Piranguçu, no SME; Etapa 2 – foram feitas as entrevista com os moradores e com os técnicos do LIH; e Etapa 3 – a construção de planilhas de cotagramas.

Etapa 1 – Dados de estações fluviométricas

Foi necessária a utilização de dados de cotas altimétricas dos níveis d'água dos rios das estações Borges, Santana, Água Limpa, Anhumas, Piranguçu e José Pereira. Esse conjunto de dados foi fornecido pelo Laboratório de Informações Hídricas (LIH), o qual gerenciava o Sistema de Monitoramento de Enchente (SME) do rio Sapucaí. A tabela 1 mostra a localização das estações. A Figura 1 mostra a distribuição delas num mapa.

Tabela 1 – Localização das estações instaladas em 2009 com as referências de nível.

Fonte: Laboratório de Informações Hídricas

Estação	Município	Rio	Coordenadas - (UTM)		Base nível (m)
			N (m)	E (m)	
Água Limpa	Itajubá	Santo Antônio	7515206,19	462147,23	851,44
Borges	Piranguçu	Sapucaí	7503804,51	452717,22	915,75
Anhumas	Itajubá	Anhumas	7512442,66	453628,92	860,01
Piranguçu	Piranguçu	Piranguçu	7509724,92	448809,45	856,57
Santana	Wenceslau Brás	Bicas	7511042,16	460692,55	854,44
Unifei	Itajubá	José Pereira	7520046,48	457982,52	879,93

Esses dados continham as informações georreferenciadas do nível d'água (cotas altimétricas) e da pluviometria. A estação Borges continha dados de 2009 a 2015 e as demais estações de 2011 a 2015.

Com os dados de cotas altimétricas planilhados foram identificados os picos de inundação. Sendo escolhido para o estudo, o evento de maior magnitude.

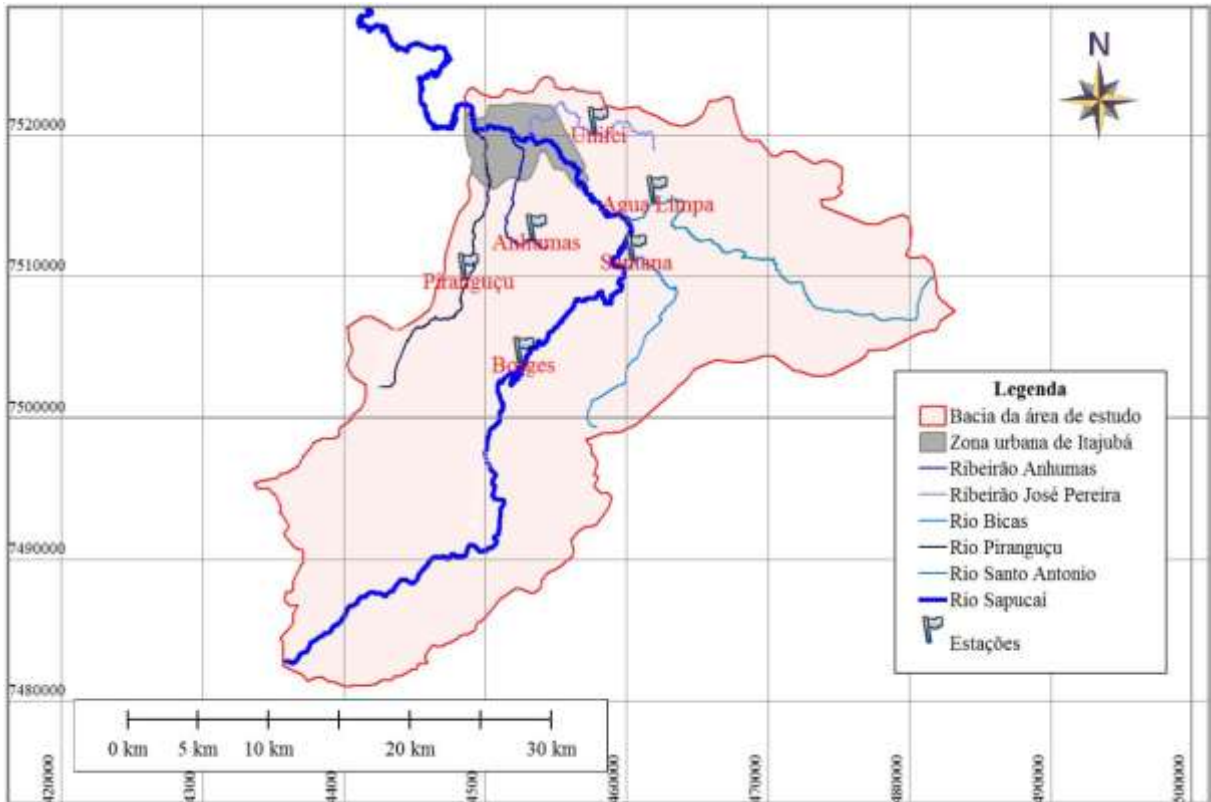


Figura 1 – Bacia hidrográfica da área de estudo com as estações do SME.

Fonte: Autor.

Etapa 2 – Entrevista com os moradores e com equipe técnica do LIH

O último evento de inundação ocorrido no rio Sapucaí, foi no ano de 2000, o qual gerou impactos que ainda estão na memória de muitos moradores. Para reproduzir esse evento, foram feitas entrevistas com os moradores e com a equipe técnica do LIH, que relataram de maneira superficial os horários que a inundação ocorreu, e ainda identificaram os locais onde o nível da inundação atingiu a cota máxima.

A escolha dos entrevistados baseou-se na proximidade das moradias às estações do SME e que vivenciaram o evento do ano de 2000. As pessoas abordadas tiveram que responder o seguinte questionário (6 entrevistados):

- Você se lembra da enchente do ano de 2000?
- O que você estava fazendo no dia da enchente?
- Que horas o nível d'água começou a subir?
- Qual foi a altura máxima atingida pela enchente?
- Há alguma marca preservada da enchente?
- Horário que atingiu o nível máximo a enchente?

- Horário que a enchente começou a diminuir?
- Horário que o rio voltou ao normal?

A equipe técnica do LIH possui uma experiência de mais de 10 anos com trabalhos envolvendo inundações no rio Sapucaí, foi responsável pela criação do SME, sendo significativo relatar a suas experiências. Foram feitas as seguintes perguntas (3 entrevistados):

- Há algum relato do horário em que o nível d'água começou a subir?
- Há algum relato da altura máxima atingida pela enchente?
- Há alguma marca preservada da enchente?
- Há algum relato do horário que atingiu o nível máximo pela enchente?
- Há algum relato do horário que a enchente começou a diminuir?
- Há algum relato do horário que o rio voltou ao normal?

As entrevistas foram cruzadas, detalhando os horários que começou a encher, o nível máximo atingindo e quando o curso d'água voltou ao normal.

Os locais indicados pelos entrevistados foram georreferenciados com o receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) modelo Leica CS09, usando como referência Datum SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). A Figura 2 mostra a coleta de um ponto da cota máxima atingida na estação Borges. Os pontos foram coletados no modo “*stop and go*” por um tempo de 20 minutos no primeiro ponto e nos posteriores por 20 segundos, e processados no programa Leica Geo Office 7.0. Após o processamento, foi realizado o cálculo da correção ortométrica no programa MapGeo 2015, conforme orientações do IBGE (MATOS et al., 2016).

De acordo com o registro das coletas com o receptor GNSS e das entrevistas, foram feitas planilhas no programa Microsoft Office Excel 2010 detalhando os horários e as cotas altimétricas atingidas pelas inundações.



Figura 2 – Georeferenciamento na estação Borges.

Fonte: Laboratório de Informações Hídricas

Etapa 3 – Elaboração das planilhas de cotogramas

Com duas planilhas geradas para cada estação, foi possível montar a planilha com os dados do evento registrado pelo SME com o evento histórico. Após o ajustamento dos dados na planilha, foi gerado o resultado, a planilha com os dados de cota altimétrica por data/hora do evento no ano de 2000.

RESULTADOS

Construção dos Cotogramas

Com os dados SME, foi escolhido o maior evento de inundação registrado pelas estações. E a partir das entrevistas realizadas e do georeferenciamento das marcas de cheias para cada estação, foram elaborados gráficos detalhando o evento do ano 2000.

De acordo com a Figura 4, a inundação do ano de 2000, teve dois picos de cheias, sendo o segundo gerado no declínio da curva, confundindo a população que estava presente. Fazendo com que a população presume-se que as águas da inundação estavam se dissipando, quando de fato, estavam revigorando por mais algumas horas, aumentando os prejuízos. A Tabela 1

detalha os horários de quando houve o transbordamento da calha, quando atingiu os picos e quando não houve mais transbordamento.

Tabela 1 – Horários do transbordamento, dos picos e do fim da inundação do evento do ano de 2000.

Estações	Transbordamento	1º pico	2º pico	Fim da inundação
Borges	30/12/99 15:00	31/12/99 6:00	31/12/99 20:00	2/1/00 13:00
Água Limpa	31/12/99 12:00	1/1/00 6:00	1/1/00 19:00	3/1/00 13:00
Santana	31/12/99 18:00	1/1/00 8:00	1/1/00 20:00	3/1/00 13:00
José Pereira	31/12/99 8:00	1/1/00 8:00	1/1/00 20:00	4/1/00 18:00
Anhumas	31/12/99 1:00	1/1/00 8:00	1/1/00 20:00	3/1/00 22:00
Piranguçu	31/12/99 19:00	1/1/00 8:00	1/1/00 19:00	3/1/00 13:00

CONCLUSÕES

Para prevenção e mitigação de inundação, as medidas não-estruturais devem ser incentivadas, pois são ações de grande alcance e de baixo custo. Estudar o comportamento hidráulico e hidrológico do sistema do rio é essencial para qualquer empreendimento a ser realizado nos corpos d'água.

O levantamento histórico das cotas dos eventos extremos, através das entrevistas consumiu uma quantidade significativa de tempo e esforço. Os dados e estudos do LIH, juntamente com os resultados das entrevistas, contribuíram para a geração e análise dos resultados dos cotogramas.

A identificação dos cotogramas se mostrou válida, pois onde foram cruzados os cotogramas das demais estações, a variação da curva do gráfico e os horários foram semelhantes.

O trabalho dá embasamento para o gerenciamento do risco de inundação, que pode ser dividido em três fases: antes, durante e depois do evento. Os sistemas de previsão e alerta de enchente em tempo real gera alerta antecipado contribuindo para reduzir os impactos causados pelas inundações.

Para próximos trabalhos, recomenda-se fazer as seções topobatimétricas de cada seção, com elas serão possíveis detalhar a velocidade do escoamento, a curva chave e a área afetada. Continuando os trabalhos com esses dados, poderá ser feito a simulação hidrodinâmica para outras localidades, por exemplo a cidade de Itajubá.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, A. A. OLIVEIRA, G. M.; OLIVEIRA, T. J. Relatório da Comissão de Avaliação Técnica para Recuperação e Urbanização das Margens do Rio Sapucaí e seus Afluentes da Área Urbana. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade Itajubá, v.9, n.4, p. 126-140, jul./dez. 2015.
- ENOMOTO, C.F. Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso a bacia do Rio Palmital, Paraná. Paraná, 2004. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Ambientais). Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2004.
- MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A; MONI SILVA, A. P. Estudo de cenários na simulação de eventos de cheias no rio Piranguçu e sua influência no Distrito Industrial de Itajubá-MG. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 6, n. 1, 2018.
- MATOS, A. C. O. C., BLITZKOW, D., MACHADO, W. C., NUNES, M. A., LENGROBER, N. V., XAVIER, E. M. L., FORTES L. P. S. MAPGEO 2015: O novo modelo de ondulação geoidal do Brasil. Revista Brasileira de Cartografia, 68, 10 (2016).
- MORAES, J. M. (2003). Rio Sapucaí – Vereda da visão de uma Alvorada. ACR & Associados. 128 p.
- OLIVO, A. A. Modelos matemáticos para a previsão de cheias fluviais. Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos - SP. 151 p. 2004.
- PINHEIRO, V. M. (2005). Avaliação Técnica e Histórica das Enchentes em Itajubá – MG. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Concluída em 2005.
- SEMAS-PA (2015). Manual de operação da sala de situação para previsão e monitoramento de eventos extremos hidrometeorológicos no Pará. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade e Sustentabilidade. Disponível em: <www.SEMASs.pa.gov.br>. Acesso em: 01 abril de 2019.
- THIELEN, J.; BARTHOLMES, J.; RAMOS, M. H.; DE ROO, A. The European Flood Alert System – Part 1: Concept and development. Hydrol. Earth Syst. Sci., v. 13, p. 125-140, 2009.
- TUCCI, C.E.M. Inundações Urbanas. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, p. 16-36. 1995.

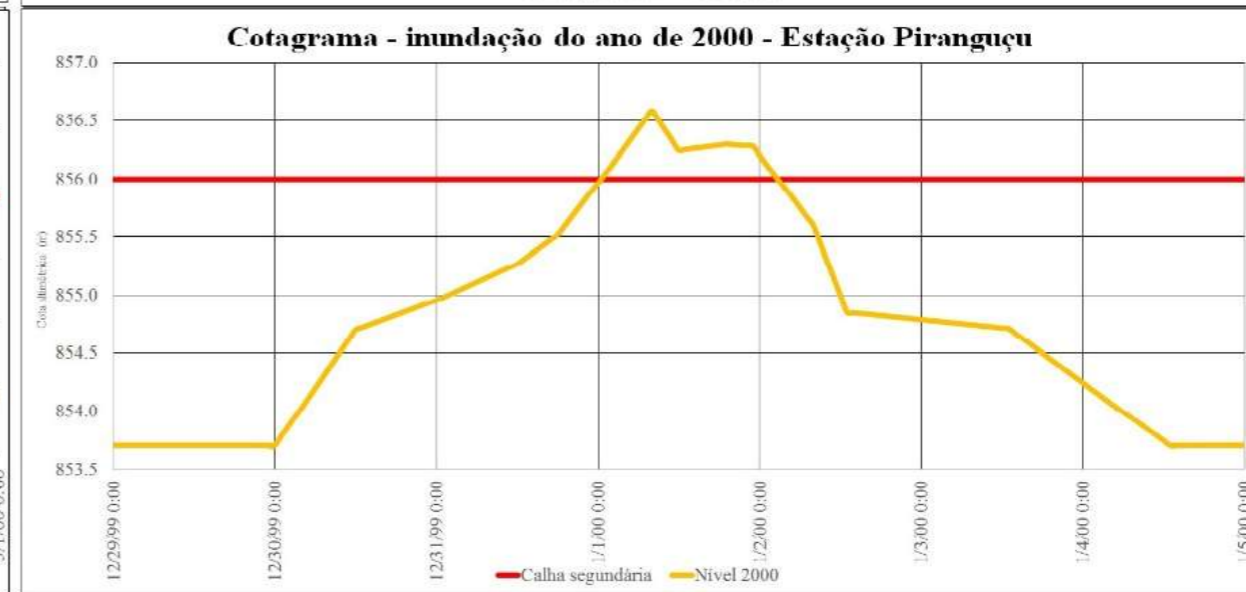
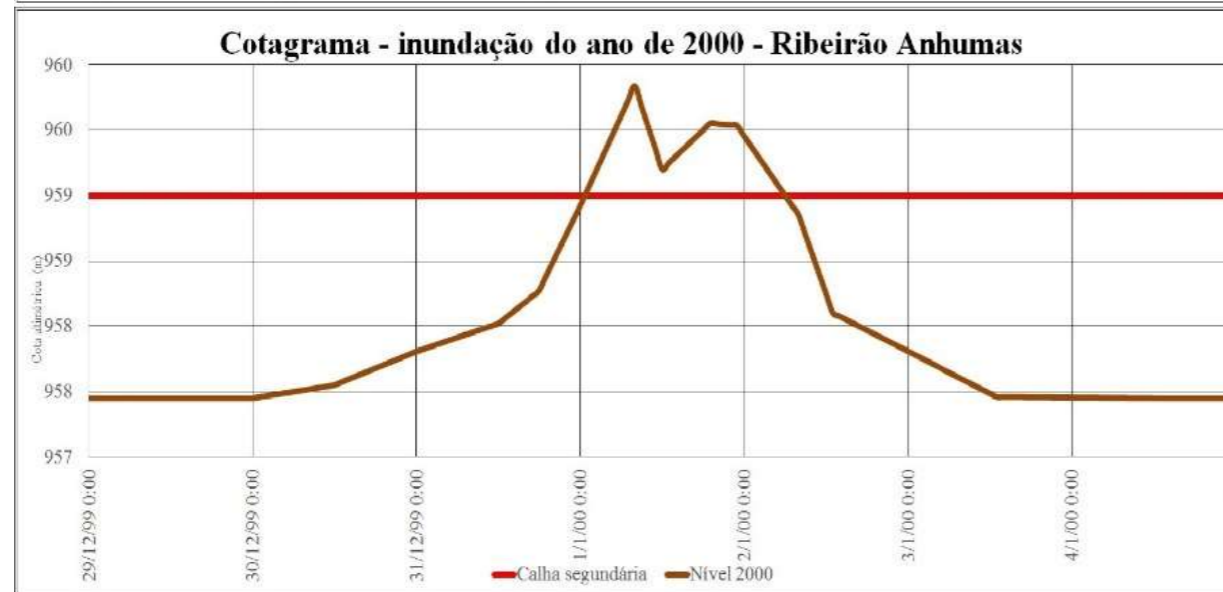
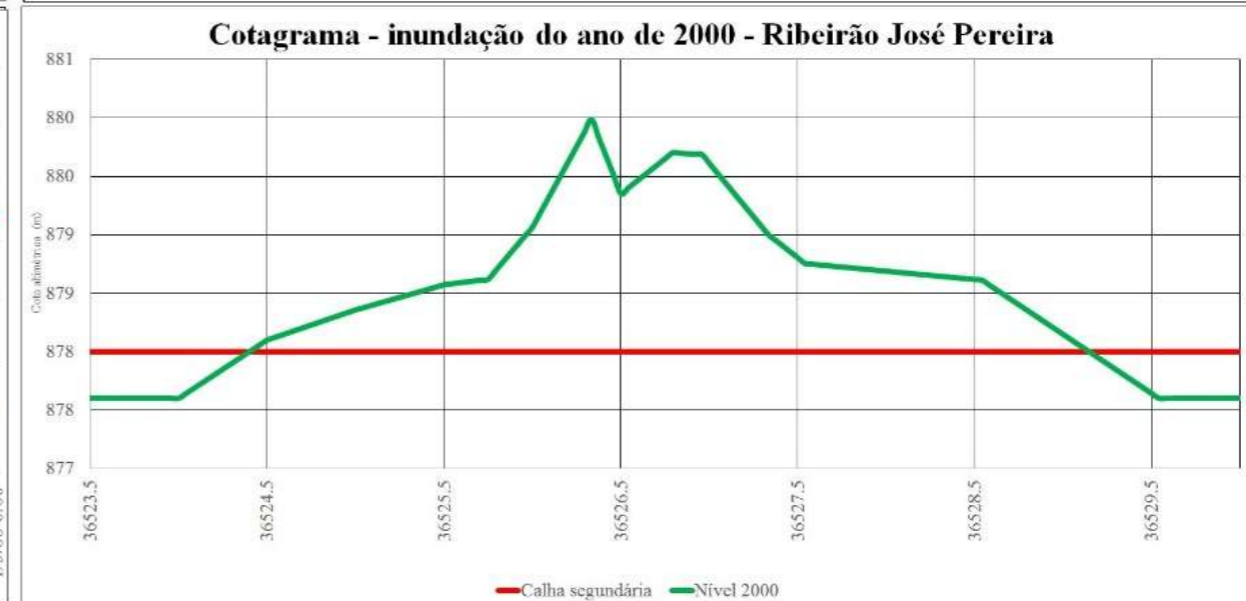
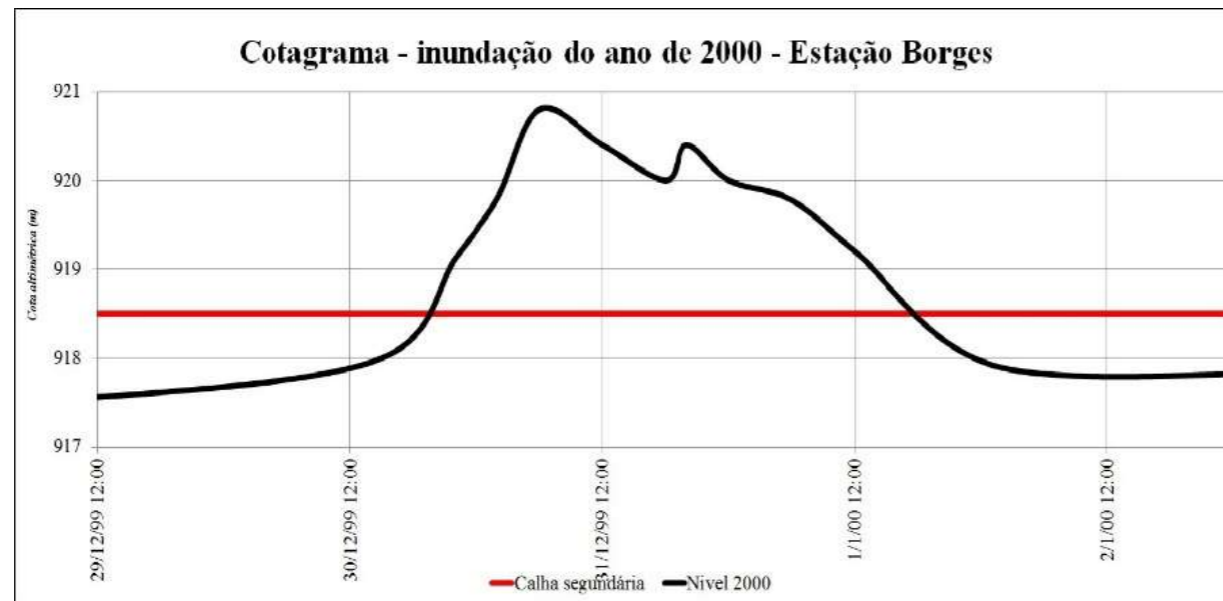


Figura 4 – Cotogramas da inundação do ano de 2000, nas estações Borges, Santana, Jose Pereira, Anhumas, Água Limpa e Piranguçu.