

# RELATÓRIO DE ATIVIDADES

## DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA



### RELATÓRIO ANUAL DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO ITAPECURU

---

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Junho 2021

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

# **Relatório de Atividades**

## **Departamento de Hidrologia**

---

**ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS**  
**SUBÁREA: PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS**

(Relatório de Atividades N° 1 – Ano 2021)

---

### **REALIZAÇÃO**

Divisão de Hidrologia Aplicada

### **AUTORES**

Roberto José Amorim Rufino Fernandes  
Artur Jose Soares Matos

**Teresina/PI, 2021**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

**Ministro de Estado**

Bento Albuquerque

**Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Pedro Paulo Dias Mesquita

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**DIRETORIA EXECUTIVA**

**Diretor-Presidente**

Esteves Pedro Colnago

**Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Marcio José Remédio

**Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Paulo Afonso Romano

**Diretor de Administração e Finanças**

Cassiano de Souza Alves

**COORDENAÇÃO TÉCNICA**

**Chefe do Departamento de Hidrologia**

Frederico Claudio Peixinho

**Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada**

Adriana Dantas Medeiros

**Coordenador Nacional dos Sistemas de Alerta Hidrológico**

Artur Jose Soares Matos

# RELATÓRIO ANUAL DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO ITAPECURU

(Relatório de Atividades N° 1 – Ano 2021)

## REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

## AUTORES

Roberto José Amorim Rufino Fernandes

Artur Jose Soares Matos

**FOTO DA CAPA:** Arte sobre imagem Google Earth do centro histórico de Codó/MA e sua interação com o rio Itapecuru.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

F363r Fernandes, Roberto José Amorim Rufino.  
Relatório de atividades - Departamento de hidrologia.  
Relatório anual de operação do sistema de alerta  
hidrológico da bacia do rio Itapecuru. / Autores Roberto  
José Amorim Rufino Fernandes e Artur José Soares Matos.  
- Teresina : CPRM, 2021.

1 recurso eletrônico : PDF. – (SAH/Itapecuru. Área:  
recursos hídricos superficiais. Subárea: previsão e alerta  
de eventos hidrológicos críticos. Relatório de atividades, 1).

ISBN 978-65-5664-169-0

1. Hidrologia - Metodologia. 2. Hidrometria. I. Matos,  
Artur José Soares. II. Título. III. Série.

CDD 551.48072

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Ana Paula da Silva – CRB3 - 1441

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

[seus@cprm.gov.br](mailto:seus@cprm.gov.br)

Este relatório está em consonância com o Programa de Mineração e Desenvolvimento que traça o Plano de Metas e Ações 2020/2023 da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia, especificamente no Plano 3.3 – Ampliar o Conhecimento Geológico e dentro das Metas I – Ampliar o conhecimento dos riscos geológicos para a prevenção de desastres naturais e J – Ampliar e aperfeiçoar os sistemas de alertas de cheias.

Este relatório está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU)<sup>1</sup>. A Agenda 2030 e os ODS afirmam que para por o mundo em um caminho sustentável é urgentemente necessário tomar medidas ousadas e transformadoras. Os ODS constituem uma ambiciosa lista de tarefas para todas as pessoas, em todas as partes, a serem cumpridas até 2030. Se cumprirmos suas metas, seremos a primeira geração a erradicar a pobreza extrema e iremos poupar as gerações futuras dos piores efeitos adversos da mudança do clima. Os Sistemas de Alertas Hidrológicos (SAH) estão inseridos nos seguintes objetivos da ODS:



---

1 Link para cartilha da ODS dos SAHs:

[http://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/21778/1/7\\_sistemas\\_de\\_alerta\\_hidrologico\\_outubro\\_ok.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/21778/1/7_sistemas_de_alerta_hidrologico_outubro_ok.pdf)

## APRESENTAÇÃO

---

Considerado o mais extenso rio maranhense, o rio Itapecuru é um dos principais mananciais hídricos do estado do Maranhão, inclusive abastecendo a capital São Luís/MA por meio do projeto ITALUÍS.

Drenando uma significativa bacia hidrográfica, totalmente restrita ao território maranhense, o rio banha importantes cidades como Caxias/MA, Codó/MA, Coroatá/MA, Cantanhede/MA e Itapecuru-Mirim/MA, dentre outras.

Se por um lado o rio é fonte de riqueza e pujança hídrica, por outro lado, especialmente em seu baixo curso, caracterizado por terrenos de pequena declividade, a ocupação desordenada de suas várzeas de inundação em áreas urbanas acaba por ocasionar sérios prejuízos quando da ocorrência de cheias mais severas, como as observadas em 1986 e 2009.

Buscando salvaguardar a vida das populações mais vulneráveis que residem nas áreas de risco, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, por meio de sua Residência de Teresina – RETE, implantou o Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru - SAH/Itapecuru no ano de 2019 e o vem operando desde então.

Este relatório visa apresentar resumidamente as ações desenvolvidas durante a operação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Itapecuru no ano de 2021, fazer a caracterização das condições hidrológicas observadas, discutir a qualidade dos modelos de previsão e propor melhorias a serem incorporadas ao SAH/Itapecuru.

## RESUMO

---

O presente relatório apresenta um resumo das operações realizadas pelo SAH/Itapecuru referente ao período chuvoso do ano de 2021. Iniciando suas operações em 2019 beneficiando as cidades de Caxias/MA, Codó/MA e Coroatá/MA, o SAH/Itapecuru foi expandido neste ano para as cidades de Cantanhede/MA e Itapecuru-Mirim/MA, atingindo a meta estabelecida quando de sua criação. Em 2021 foram observadas precipitações abaixo da média histórica nas regiões sul e central da bacia, o que não permitiu a formação de eventos significativos de cheia no rio Itapecuru em todo o seu curso. Em Caxias/MA, o rio manteve-se bem abaixo dos valores mais frequentes de cota durante praticamente todo o período monitorado. Em Codó/MA foi observado apenas um evento significativo de cheia entre os dias 28 e 29 de março, com o rio apresentando em boa parte do tempo cotas abaixo da permanência de 25%. O mesmo quadro foi observado na cidade de Coroatá/MA. Em Cantanhede/MA e em Itapecuru-Mirim/MA, apesar da pluviometria mais favorável, a baixa contribuição de montante acabou por impedir que as cotas superassem as cotas de Alerta em ambas as cidades neste primeiro ano após sua inclusão no SAH/Itapecuru.

## ABSTRACT

---

This report presents a summary of SAH/Itapecuru operations for the rainy season of 2021. Starting its operations in 2019, benefiting the cities of Caxias/MA, Codó/MA and Coroatá/MA, SAH/Itapecuru was expanded in this year to the cities of Cantanhede/MA and Itapecuru-Mirim/MA, reaching the goal established in its creation. In 2021, rainfall below the historical average was observed in the southern and central regions of the basin, which prevented the formation of significant flood events in the Itapecuru River throughout its course. In Caxias/MA, the river remained well below the most frequent levels values during practically the entire monitored period. In Codó/MA, only one significant flood event was observed between the 28th and 29th of March, with the river presenting, most of the time, levels below the permanence of 25%. The same case was observed in the city of Coroatá/MA. In Cantanhede/MA and Itapecuru-Mirim/MA, despite the more favorable rainfall, the low upstream contribution ended up preventing the levels from exceeding the Alert levels in both cities in this first year after their inclusion in the SAH/Itapecuru.

## SUMÁRIO

---

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. ÁREA DE ATUAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>3. HISTÓRICO DO SAH/ITAPECURU .....</b>	<b>17</b>
<b>4. CIDADES BENEFICIADAS .....</b>	<b>19</b>
<b>5. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DO ANO DE 2021 .....</b>	<b>22</b>
<b>6. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS .....</b>	<b>28</b>
<b>6.1. Campanha de Campo .....</b>	<b>28</b>
<b>6.2. Emissão de Boletins.....</b>	<b>30</b>
<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>31</b>
<b>8. AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>33</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>33</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

FIGURA 1. BACIA DO RIO ITAPECURU.	15
FIGURA 2. MAPA DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS QUE COMPÕE O SAH/ITAPECURU.	20
FIGURA 3. PRECIPITAÇÕES MENSAS ENTRE JANEIRO E MAIO DE 2021, ESPERADAS E OBSERVADAS.	24
FIGURA 4. VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO ITAPECURU EM CAXIAS/MA.	25
FIGURA 5. VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO ITAPECURU EM CODÓ/MA.	26
FIGURA 6. VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO ITAPECURU EM COROATÁ/MA.	26
FIGURA 7. VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO ITAPECURU EM CANTANHEDE/MA.	27
FIGURA 8. VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO ITAPECURU EM ITAPECURU-MIRIM/MA.	27
FIGURA 9. REUNIÃO COM GESTORES DA CIDADE DE CODÓ/MA.	29
FIGURA 10. LEVANTAMENTO DA COTA DE INUNDAÇÃO NA LOCALIDADE PONTE DO SARDINHA EM CANTANHEDE/MA.	29

## LISTA DE TABELAS

---

TABELA 1 – QUANTIDADE DE BOLETINS DE ALERTA HIDROLÓGICO EMITIDOS POR MÊS PELO SAH/ITAPECURU EM 2020.	18
TABELA 2 – MUNICÍPIOS BENEFICIADOS E ANTECEDÊNCIA DA PREVISÃO.	19
TABELA 3 – ESTAÇÕES QUE COMPÕE O SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO ITAPECURU.	21
TABELA 4. DEFINIÇÕES DAS COTAS DE REFERÊNCIA E AÇÕES DECORRENTES.	21
TABELA 5. COTAS DE REFERÊNCIA PARA AS CIDADES BENEFICIADAS.	22
TABELA 6. COTAS MÁXIMAS OBSERVADAS E TEMPO DE RECORRÊNCIA (TR).	25
TABELA 7. DATA DAS EMISSÕES DOS BOLETINS DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO.	30
TABELA 8. BOLETINS EMITIDOS PELO SAH/ITAPECURU EM 2021.	31

## 1. INTRODUÇÃO

O Itapecuru é um dos principais rios do estado do Maranhão. Sua bacia se desenvolve ao longo de 52.972 km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 16% da superfície do estado, e nos seus 1.050 km de extensão atravessa a zona urbana de 10 municípios maranhenses.

Sinônimo de riqueza hídrica, o rio se converte em fonte de preocupação nas cidades por ele banhadas quando da ocorrência do período chuvoso, especialmente nos meses de março a maio, quando são observadas suas maiores cheias.

A ocupação indevida de suas várzeas de inundação nas cidades ribeirinhas acabam por provocar grande prejuízos materiais e risco às vidas humanas quando da ocorrência de períodos chuvosos mais rigorosos, como os observados em 1974, 1986 e 2009,

Uma das formas recomendadas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para gerenciar ou reduzir o impacto causado pelas inundações ribeirinhas é a implantação de sistemas de alerta e previsão de cheias. Esta é considerada uma medida não estrutural que pode ser utilizada em conjunto com outras medidas, tais como, o planejamento do uso do solo, ou mesmo o uso de seguro para desestimular a ocupação de áreas sujeitas a inundação.

Desta forma, buscando a minimização dos impactos adversos das inundações ribeirinhas do rio Itapecuru, em especial quanto à vida humana, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM vem operando o Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Itapecuru, o SAH/Itapecuru, desde o ano de 2019. A partir do monitoramento em tempo real, são realizadas previsões de comportamento futuro de curto prazo que permitem um tempo mínimo de ação dos órgãos de salvaguarda, especialmente a Defesa Civil, quando da ocorrência iminente de uma inundação ribeirinha.

Beneficiando inicialmente as cidades de Caxias/MA, Codó/MA e Coroatá/MA, neste ano de 2021 a operação do sistema foi estendida para as cidades de Cantanhede/MA e Itapecuru-Mirim/MA, concluindo a meta prevista de municípios atendidos pelo sistema.

Este relatório visa apresentar resumidamente as ações desenvolvidas durante a operação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Itapecuru no ano de 2021, bem como apresentar a caracterização das condições hidrológicas observadas.

## 2. ÁREA DE ATUAÇÃO

O rio Itapecuru nasce a sul do estado do Maranhão, no sistema formado pelas serras de Cruzeiras, Itapecuru e Alpercatas, a cerca de 530 m de altitude. Partindo de suas nascentes, corre inicialmente na direção oeste-leste até Várzea do Cerco, onde toma rumo norte até a barra do rio Alpercatas. Deste ponto em diante, muda de direção para nordeste, persistindo até encontrar o rio Correntes, onde, subitamente, inflete para noroeste. Nas proximidades de Caxias/MA assume direção geral norte-noroeste. Deságua na baía do Arraial, a sudeste da ilha de São Luís, através de dois braços denominados Tucha e Mojó. Os principais afluentes pela margem direita são os rios Correntes, Pirapemas e Itapecuruzinho e os riachos Seco, do Ouro, Gameleira, Cachimbo e Guariba. Pela margem esquerda, destacam-se os rios Alpercatas, Peritoró, Pucumã, Codozinho, dos Porcos e Igarapé Grande, além dos riachos São Felinho, da Prata e dos Cocos (IBGE, 1997).

Drenando uma área total da ordem de 52.972 km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 16% da superfície do estado do Maranhão, a bacia hidrográfica do rio Itapecuru tem forma geométrica de uma foice com a concavidade voltada para a bacia do Rio Mearim, limitando-se com Baía do Arraial pelo norte, com a bacia do Mearim pelo oeste, com a bacia do Munim por nordeste e, a leste, com a bacia do rio Parnaíba, conforme pode ser observado na Figura 1.

Segundo Alcântara (2004), a bacia abrange, total ou parcialmente, 45 municípios, dos quais 10 têm suas sedes municipais banhadas pelo rio principal. A população total residente na bacia, segundo o Censo 2010 do IBGE, é de 1.622.875 habitantes, correspondendo a uma densidade populacional de 30,6 hab/km<sup>2</sup>.

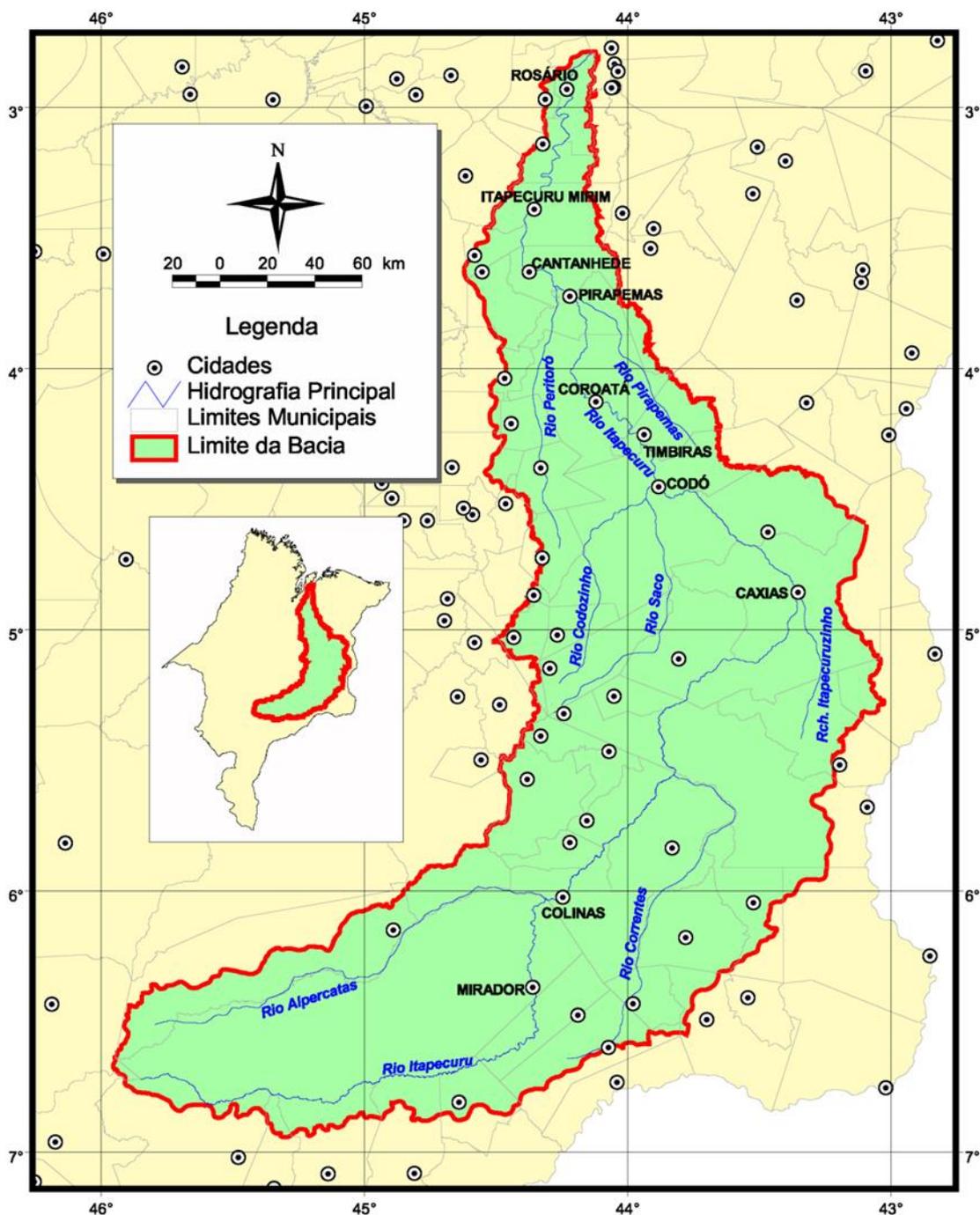


Figura 1. Bacia do rio Itaipicuru.

Localizada em uma zona de transição climática entre o semiárido nordestino e o equatorial amazônico, a bacia apresenta precipitações médias anuais na faixa de 1.200 a 1.400 mm em sua porção mais alta, ao sul, chegando a valores entre 1.600 e 2.000 mm na porção mais baixa, a jusante da cidade de Cantanhede.

O rio principal percorre uma extensão da ordem de 1.050 km, tendo seu curso dividido em (BEZERRA, 1984):

a) Alto Itapecuru - vai da nascente até o município de Colinas/MA. Geomorfologicamente há uma predominância de chapadões, chapadas e cuestas, apresentado um relevo forte ondulado compondo as partes mais elevadas (350 metros) da baía com as serras de Itapecuru, Alpercatas, Cruzeiras e Boa Vista. Recebendo a contribuição mais significativa do rio Alpercatas, a vazão média do rio Itapecuru em Colinas (posto fluviométrico 33480000) é de 54,3 m<sup>3</sup>/s, sendo a maior vazão registrada de 200 m<sup>3</sup>/s em abril de 1985;

b) Médio Itapecuru - vai do município de Colinas até o município de Caxias/MA. Esta área apresenta uma situação morfológica denominada testemunhos, onde predomina o relevo de chapadas baixas e uma superfície suave ondulado a forte ondulado, com uma diferença de altitude de 60 metros. Na estação fluviométrica Caxias (33550000), a vazão média do rio corresponde a 71,0 m<sup>3</sup>/s e a máxima registrada foi observada em abril de 1974, 743 m<sup>3</sup>/s;

c) Baixo Itapecuru - vai do município de Caxias/MA até a foz, na baía de São José. Essa área possui uma geomorfologia caracterizada pela presença da superfície maranhense com testemunho e na sua foz pelo Golfão Maranhense, com um relevo de superfície suave ondulado. Considerando os dados da estação Cantanhede (33680000), a mais a jusante do rio, a vazão média chega a 221,3 m<sup>3</sup>/s. Em termos de vazões máximas, o maior valor registrado foi em abril de 1986, correspondendo a 3.220 m<sup>3</sup>/s.

As cidades banhadas pelo rio principal e suas respectivas populações urbanas segundo o Censo 2010 do IBGE são: Mirador/MA – 9.373 hab (97ª maior cidade do estado); Colinas/MA – 25.575 hab (29ª); Caxias/MA – 118.534 hab (4ª); Codó/MA – 81.045 hab (5ª); Timbiras/MA - 17.471 hab (43ª); Coroatá/MA – 43.057 hab (14ª); Pirapemas/MA – 11.146 hab (80ª); Cantanhede/MA – 12.959 hab (68ª); Itapecuru-Mirim/MA – 34.668 hab (19ª); e Rosário/MA – 23.252 hab (31ª).

### 3. HISTÓRICO DO SAH/ITAPECURU

A decisão pela criação do SAH/Itapecuru se deu em 2018, face ao pedido do Governo do Estado da Maranhão, que pretendia implantar um sistema próprio cobrindo a bacia do Mearim, um dos produtos do plano de bacia, e desejava utilizar da expertise da CPRM para atender a bacia do rio Itapecuru em função da grande quantidade de pessoas potencialmente afetadas pela cheia deste rio, especialmente no seu médio e baixo curso.

Após a realização de reuniões na sede da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA/MA, foram definidas as cidades a serem beneficiadas e que as estações automáticas a serem instaladas ou reinstaladas por parte da CPRM teriam o apoio da SEMA/MA e do Corpo de Bombeiros.

As cidades alvos do SAH/Itapecuru foram: Caxias/MA (118.559 hab), Codó/MA (81.043 hab), Coroatá/MA (43.017hab), Cantanhede/MA (12.959 hab) e Itapecuru-Mirim/MA (34.668 hab). Considerando a rede telemétrica existente, restrita às cidades beneficiadas de Caxias/MA e Codó/MA, decidiu-se pela instalação de PCDs nos postos fluviométricos Montevideú (33530000), a montante de Caxias/MA, Coroatá (33630000), Cantanhede (33680000), e pela instalação de uma estação fluviométrica convencional para monitoramento do nível do rio Itapecuru na cidade de Itapecuru-Mirim/MA, de forma a se avaliar a viabilidade da realização de previsões para esta cidade dada a proximidade com a foz e o possível efeito de maré. Também foi decidido pela instalação de uma PCD junto à estação convencional de forma a se ter um retrato mais fiel das variações de nível.

Foi inicialmente realizada uma viagem de reconhecimento das estações em conjunto com o pessoal da SEMA/MA em julho de 2018, e nos meses de outubro e novembro daquele ano foram feitas as instalações das estações automáticas e da estação fluviométrica de Itapecuru-Mirim. Também foi feita a reinstalação das PCDs de Caxias (33550000) e Codó (33590000), que foram remanejadas de postes de concreto para postes metálicos devido à grande altura dos primeiros.

O SAH/Itapecuru foi programado para entrar em operação em caráter de testes no ano de 2019, beneficiando, inicialmente, as cidades maranhenses de

Caxias/MA, Codó/MA e Coroatá/MA a partir de modelos de previsão do tipo cota-cota desenvolvidos com dados das estações convencionais. Entretanto, os eventos de cheia observados nos primeiros dias do mês de abril de 2019 anteciparam sua entrada em operação antes do lançamento oficial.

Entre os dias 01 de abril e 07 de abril foram emitidos 12 boletins de alerta hidrológico acompanhando as inundações observadas nas cidades de Caxias/MA (dias 05 e 06), Codó/MA e Coroatá/MA (05 a 07 de abril).

Oficialmente o Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Itapecuru foi lançado em um evento em São Luís/MA em dezembro de 2019.

No ano de 2020 foram observados eventos de cheia que provocaram inundação nas cidades de Caxias/MA, Codó/MA, Coroatá/MA e Cantanhede/MA. Em Itapecuru-Mirim/MA houve a inundação de uma importante via de tráfego e algumas famílias foram removidas preventivamente. Era previsto que o SAH/Itapecuru fosse ampliado para as cidades de Cantanhede/MA e Itapecuru-Mirim/MA em 2020, o que acabou não sendo possível em grande parte pela pandemia da Covid19.

Assim, manteve-se a atuação do SAH nas cidades de Caxias/MA, Codó/MA e Coroatá/MA. Foram emitidos 84 boletins de alerta hidrológico em 2020, conforme discriminado na Tabela 1. A distribuição temporal dos boletins obedeceu ao comportamento hidrológico do rio Itapecuru, que apresentou uma primeira onda de cheia em março, e uma segunda menor em abril.

Segundo análises realizadas a partir das séries históricas, o evento de 2020 teve recorrência aproximada de 10 anos, sendo o quinto maior evento registrado nos últimos 46 anos.

Tabela 1 – Quantidade de boletins de alerta hidrológico emitidos por mês pelo SAH/Itapecuru em 2020.

<b>Mês</b>	<b>Nº de Boletins</b>
Fevereiro	2
Março	35
Abril	38
Maio	9
<b>Total</b>	<b>84</b>

#### 4. CIDADES BENEFICIADAS

Em 2019 o sistema foi iniciado beneficiando as cidades de Caxias/MA, Codó/MA e Coroatá/MA com previsões variando entre 8 e 12 h. Em 2020, optou-se por trabalhar todas as cidades com previsões de 8 h de antecedência, de forma a aumentar a qualidade das mesmas em seu primeiro ano efetivo de funcionamento.

Em 2021 foram acrescentadas as cidades de Cantanhede/MA e de Itapecuru-Mirim ao rol de localidades beneficiadas com previsão, completando as cidades alvos previstas quando da implantação do sistema. A Tabela 2 apresenta a população urbana de cada cidade segundo o Censo 2010 do IBGE e a antecedência empregada para as previsões.

Tabela 2 – Municípios beneficiados e antecedência da previsão.

Ano	Cidade	População* (hab)	Antecedência de Previsão (h)
2020	Caxias/MA	118.534	8 horas
	Codó/MA	81.045	8 horas
	Coroatá/MA	43.057	8 horas
2021	Cantanhede/MA	12.959	12 horas
	Itapecuru-Mirim/MA	34.668	8 horas

\*Fonte: Censo 2010 do IBGE

Para a operação do sistema o rio Itapecuru é monitorado em seis pontos através de estações automáticas mantidas pela Agência Nacional de Águas – ANA e pela própria CPRM, o que permite o acompanhamento da variação das cotas do rio em tempo quase real, bem como fornecem o subsídio necessário para a realização das previsões. A Figura 2 apresenta as estações fluviométricas operadas, enquanto a Tabela 3 apresenta as características principais das mesmas.

Ainda em relação à operação do SAH/Itapecuru, tem-se a definição de cotas de referência mantidas pelo rio em cada seção de interesse o que permite avaliar o risco da ocorrência de eventos de inundação no curto prazo e condicionam as ações decorrentes como a emissão de boletins de alerta hidrológico e avisos às Defesas Civas e à sociedade em geral. Tais cotas são

classificadas por cor e tem as definições e ações decorrentes listadas na Tabela 4. Já a tabela 5 traz as cotas de referência para as cinco cidades beneficiadas pelo sistema.

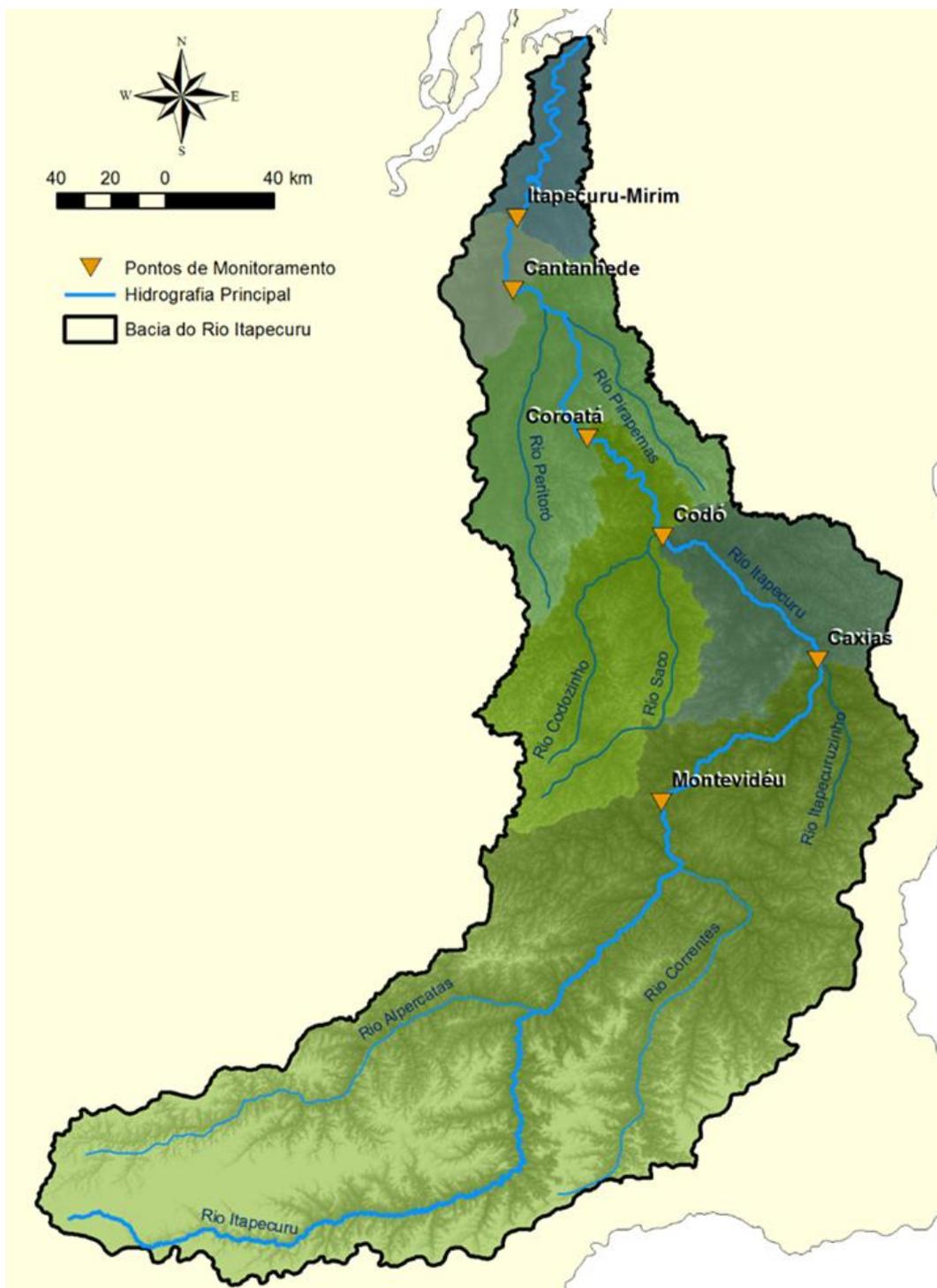


Figura 2. Mapa das estações fluviométricas que compõem o SAH/Itapecuru.

Tabela 3 – Estações que compõe o Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Itapecuru.

Nome	Código	Rio	Município	Área da Bacia (km <sup>2</sup> )
Montevidéu	33530000	Itapecuru	Gov. Eugênio Barros/MA	27.280
Caxias	33550000	Itapecuru	Caxias/MA	32.648
Codó	33590000	Itapecuru	Codó/MA	37.140
Coroatá	33630000	Itapecuru	Coroatá/MA	43.739
Cantanhede	33680000	Itapecuru	Cantanhede/MA	49.834
Itapecuru-Mirim	33690100	Itapecuru	Itapecuru-Mirim/MA	51.129

Tabela 4. Definições das cotas de referência e ações decorrentes.

Cor	Nome	Descrição	Ação Decorrente
Verde	Cota Normal	Não há risco da ocorrência de inundação.	Apenas monitoramento.
Amarelo	Cota de Atenção	Possibilidade moderada de ocorrência de inundação.	Aumento da frequência de monitoramento. Inicia a observação das previsões climáticas de curto prazo.
Laranja	Cota de Alerta	Possibilidade elevada de ocorrência de inundação.	Operação em regime de plantão. Emissão de boletins de alerta hidrológico com as previsões de comportamento futuro. Contato com as Defesas Civas.
Vermelho	Cota de Inundação	Cota em que o primeiro dano é observado no município.	Segue a operação em regime de plantão e a emissão de boletins de alerta hidrológico com as previsões, permitindo avaliar se o quadro deve melhorar ou piorar no curto prazo.

Tabela 5. Cotas de referência para as cidades beneficiadas.

Cidade	Cota de Atenção	Cota de Alerta	Cota de Inundação
Caxias/MA	4,00 m	5,00 m	6,00 m
Codó/MA	4,80 m	5,80 m	6,80 m
Coroatá/MA	6,00 m	7,00 m	8,60 m
Cantanhede/MA	10,50 m	12,30 m	13,60 m
Itapecuru-Mirim/MA	11,50 m	13,30 m	14,60 m

## 5. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DO ANO DE 2021

Em 2021 a previsão era de que a influência do fenômeno La Niña (resfriamento das águas do Oceano pacífico) afetasse o ciclo de chuvas da região. Normalmente nos anos de ocorrência desse fenômeno climático há um aumento das chuvas na região Norte e Nordeste do país. Entretanto, o que se observou foi uma concentração de chuvas no extremo norte da bacia do rio Itapecuru, enquanto a porção mais ao sul foi castigada com baixos índices pluviométricos. Além disso, foi observada uma alta variabilidade temporal das precipitações, alternando períodos mais chuvosos e veranicos mais duradouros, o que impediu a formação de eventos de cheia mais significativos.

Após um mês de janeiro bastante seco, o mês de fevereiro bastante chuvoso trouxe consigo o receio da ocorrência de inundação na bacia. Entretanto, as chuvas irregulares no mês de março e, especialmente, as chuvas de abril abaixo do esperado, acabaram por não confirmar tal perspectiva. A Figura 3 apresenta a comparação entre os volumes pluviométricos esperados e os observados em vários pontos da bacia no período de janeiro a maio de 2021.

Na porção mais ao sul, na cidade de Colinas/MA, a precipitação entre janeiro e maio de 2021 ficou 33,7% abaixo do esperado (595,1 mm observados contra 897,6 mm esperados pelos dados históricos). Na estação Montevideú (33530000), o déficit até maio foi de 17,5% (771,4 mm registrados contra 935,3 mm esperados). Na porção central, em Caxias/MA o déficit foi de 30,3% (899,8 mm contra 1.291,7 mm) e em Codó de 33,9% (826,3 mm precipitados contra 1.249,3 mm esperados). Na transição entre a faixa central e a porção mais ao

norte também foi observado déficit: em Coroatá/MA, as chuvas ficaram 12,4% abaixo do esperado (1.159,2 mm contra 1.323,3 mm). Na porção mais ao norte, foram verificados excessos, ainda que o mês de abril tenham se comportado bem abaixo do esperado. Em Cantanhede/MA, o índice pluviométrico no período ficou 7,0% acima da média histórica (1.597,4 mm registrados contra 1.493,0 mm esperados), enquanto em Itapecuru-Mirim/MA o excesso ficou em 16,7% (1.725,5 mm acumulados contra 1.478,7 mm esperados).

Em geral as cheias do rio Itapecuru se concentram nos meses de março e abril. A irregularidade pluviométrica no ano, inclusive nos meses de março e abril, acabou por levar o rio a apresentar cotas predominantemente abaixo da faixa de valores mais frequentes (entre 25% e 75% de excedência) na maior parte do tempo na maioria das estações. A Tabela 6 apresenta a cota máxima registrada em cada cidade de interesse e o tempo de retorno correspondente. Já as figura de 4 a 8 apresentam a variação da cota do rio Itapecuru nas cidades beneficiadas, bem como as cotas de referência e a faixa dos valores esperados (frequência entre 25% e 75% - área em verde em cada gráfico) entre janeiro e maio de 2021.

Como pode ser observado, os valores máximos anuais se concentraram no final do mês de março, entre os dias 28 e 29. Em Codó a cota máxima registrada, 6,81 m, foi praticamente igual à cota de inundação (6,80 m). Apesar disso, não foram observados prejuízos decorrentes naquela cidade. Em todas as demais, as cotas máximas ficaram abaixo da cota de inundação. Em relação ao tempo de recorrência, ele foi baixo em todas as estações, crescendo na direção norte, onde a precipitação ficou acima do esperado.

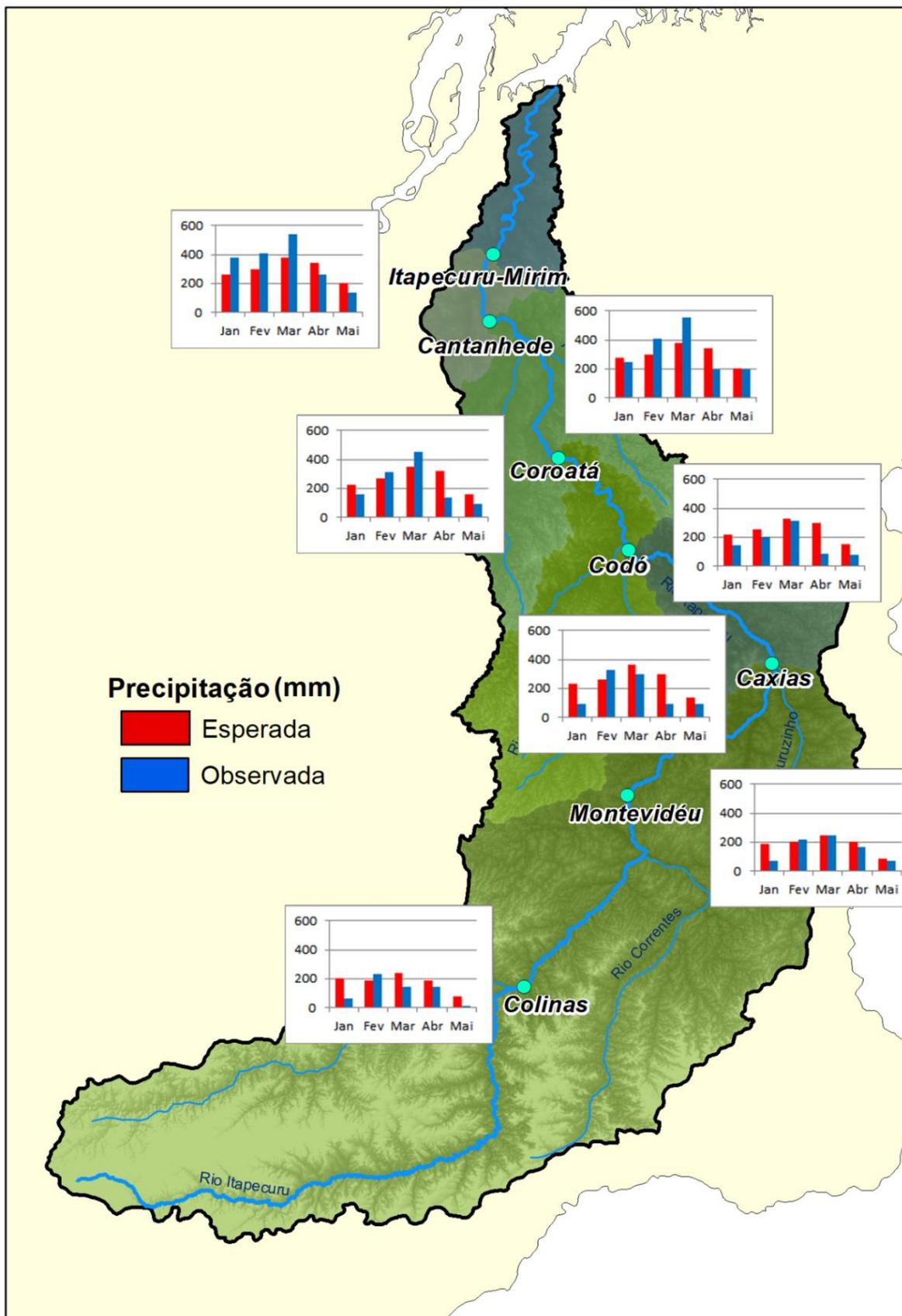


Figura 3. Precipitações mensais entre janeiro e maio de 2021, esperadas e observadas.

Tabela 6. Cotas máximas observadas e tempo de recorrência (TR).

Código	Estação	Cota de Inundação (m)	Cota Máxima (m)	Data	TR (ano)
33550000	Caxias	6,00	3,66	28/03/2021 09:15	1,2
33590000	Codó	6,80	6,81	28/03/2021 11:00	2,4
33630000	Coroatá	8,60	8,32	29/03/2021 00:45	2,3
33680000	Cantanhede	13,60	12,24	29/03/2021 16:30	3,5
33690100	Itapecuru-Mirim	14,60	13,10	28/03/2021 11:45	*

\*Estação não dispõe de série histórica que permita o cálculo.

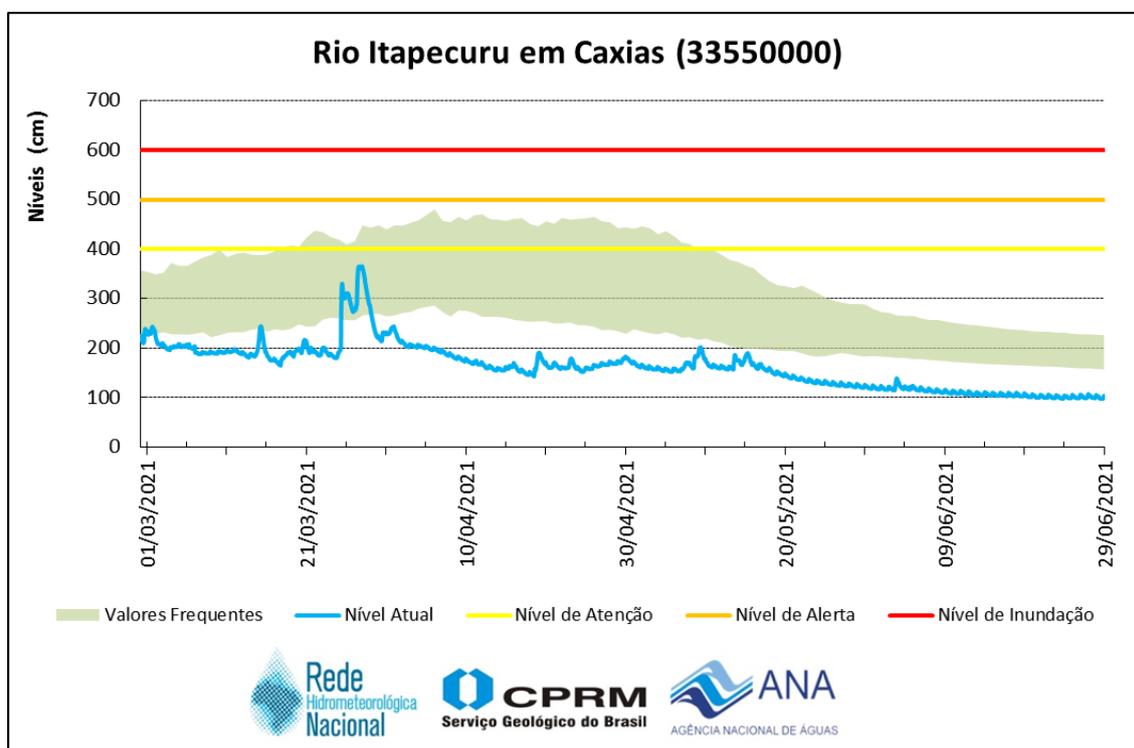


Figura 4. Variação do nível do rio Itapecuru em Caxias/MA.

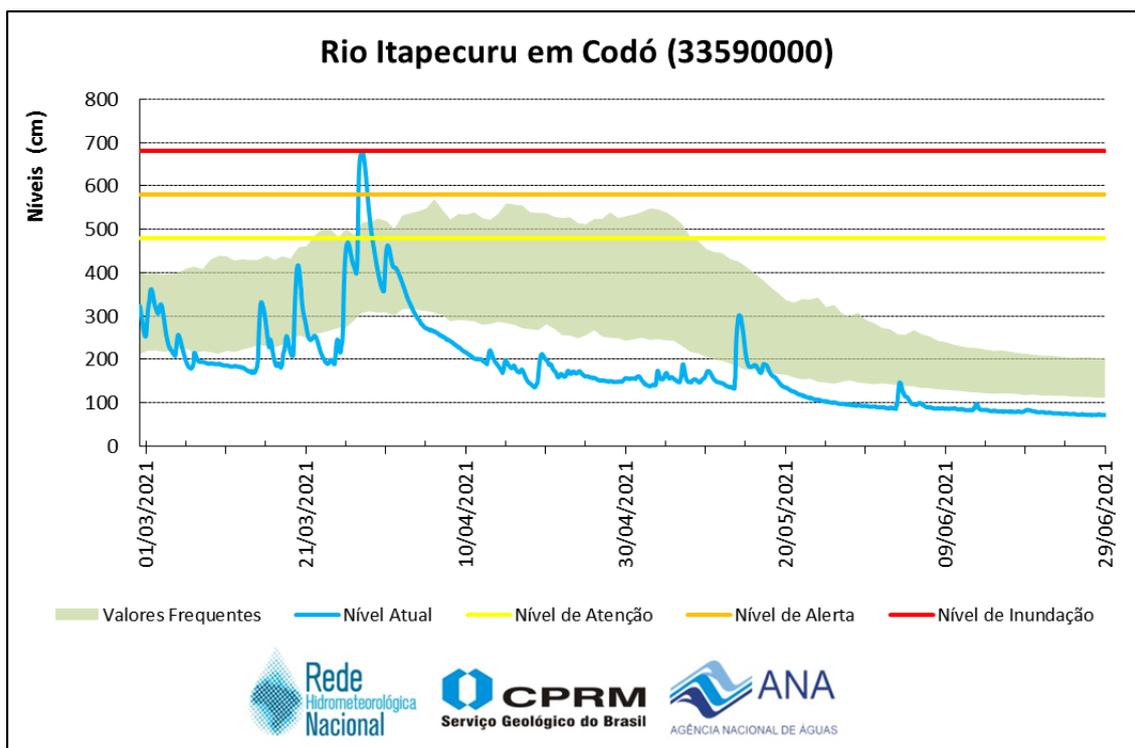


Figura 5. Variação do nível do rio Itapecuru em Codó/MA.

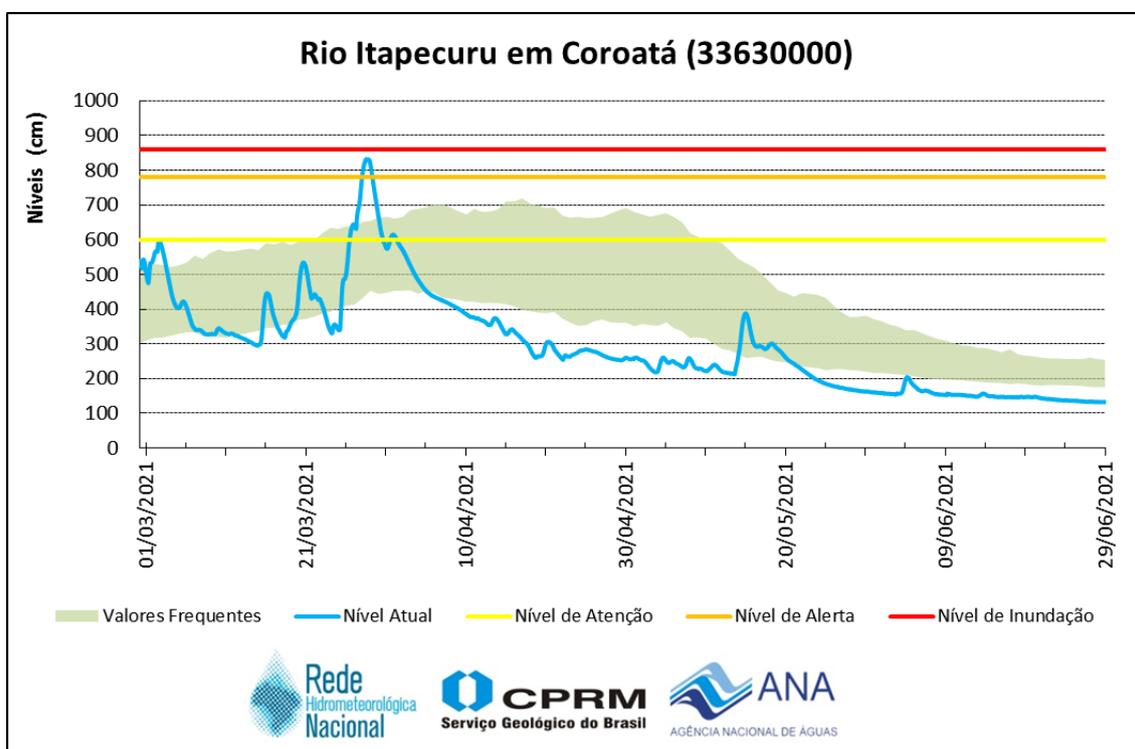


Figura 6. Variação do nível do rio Itapecuru em Coroatá/MA.

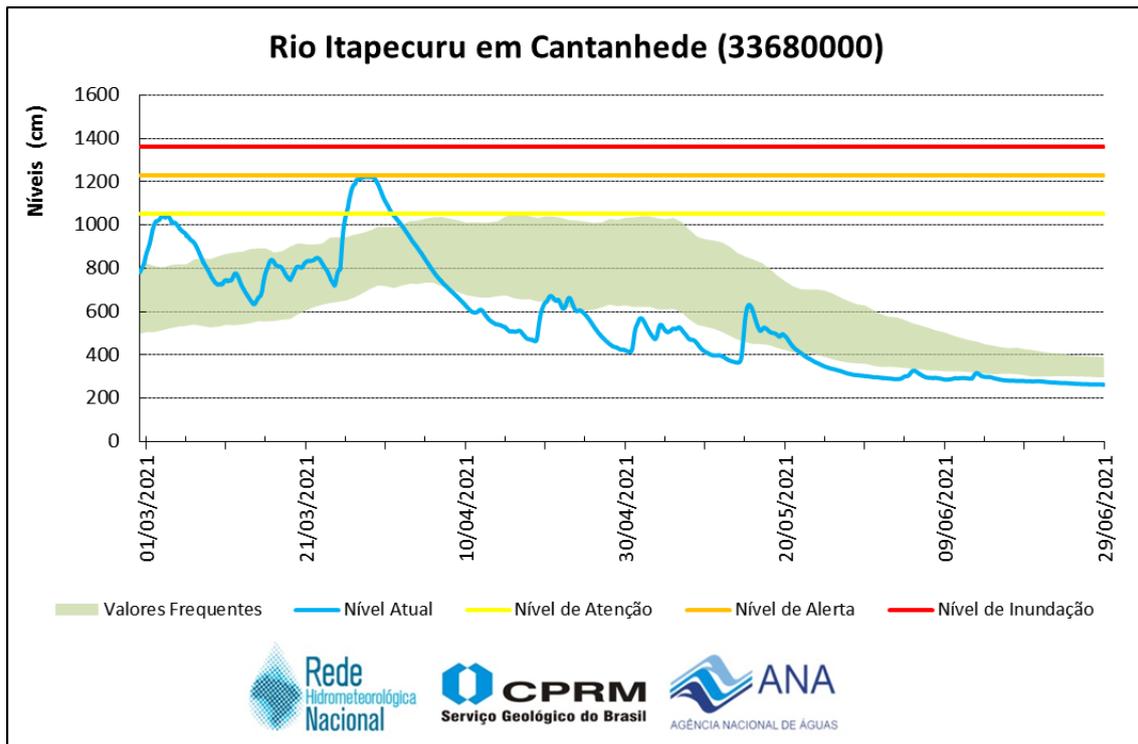


Figura 7. Variação do nível do rio Itapecuru em Cantanhede/MA.

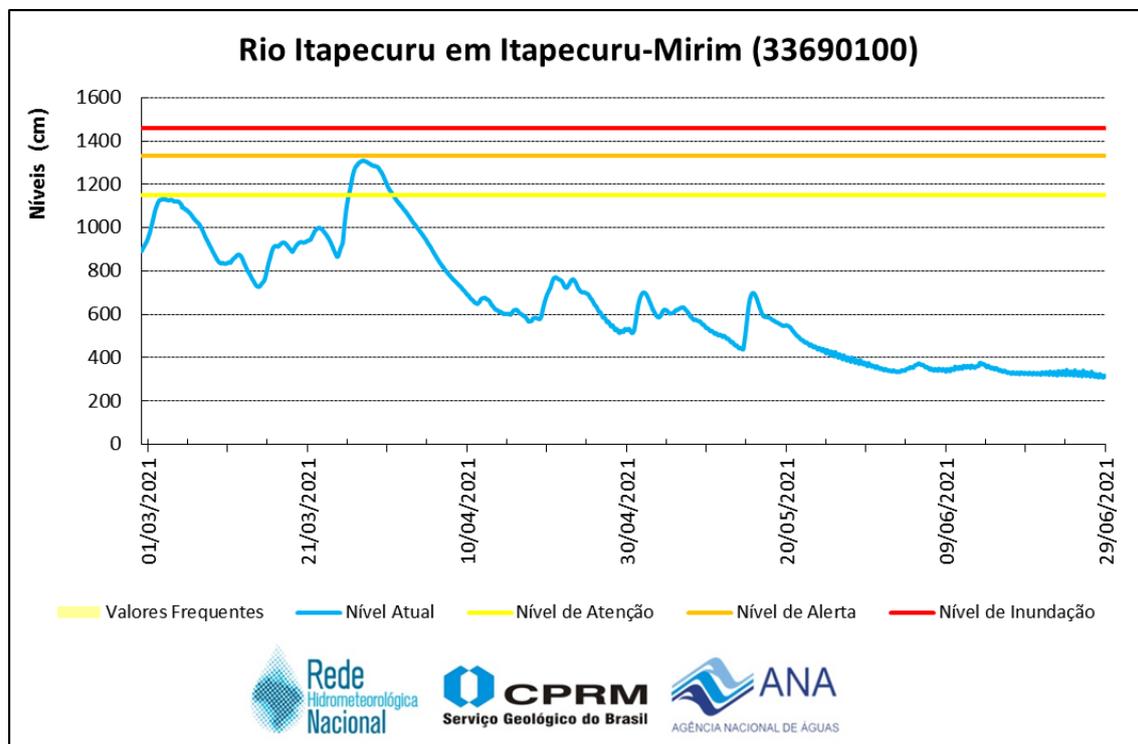


Figura 8. Variação do nível do rio Itapecuru em Itapecuru-Mirim/MA.

## 6. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

### 6.1. Campanha de Campo

Entre os dias 01 e 08 de março de 2021 foi realizada viagem de campo com três objetivos principais:

i) Contato com os responsáveis pelas Defesas Civas municipais e com o Corpo de Bombeiros para estreitamento de relações, principalmente porque houve mudança de governo em muitas prefeituras;

ii) Levantamento georreferenciado, incluindo altimetria de alta precisão, dos primeiros pontos inundados nas cidades maranhenses de Caxias, Codó, Coroatá, Cantanhede e Itapecuru-Mirim. Além disso, foi realizado o levantamento altimétrico com GPS geodésico do zero das réguas de cada uma das estações fluviométricas;

iii) Inspeção das estações convencionais e automáticas.

Os trabalhos foram realizados por equipe formada pelos Pesquisadores Engenheiros Hidrólogos Cláudio Damasceno de Souza e Roberto José A. R. Fernandes e pelo Técnico Napoleão Machado de Araújo, todos lotados na Residência de Teresina.

Apesar das limitações impostas pela pandemia, os objetivos foram alcançados, inclusive permitindo a inclusão das cidades de Cantanhede/MA e Itapecuru-Mirim/MA no rol das cidades beneficiadas. A Figura 9 mostra a reunião com o Secretário de Governo da Cidade de Codó/MA e com o Comandante da Guarda Civil Municipal, responsável pelas ações de Defesa Civil, enquanto a Figura 10 mostra o levantamento da primeira área que sofre inundação devido às cheias do rio Itapecuru na cidade de Cantanhede/MA (Ponte do Sardinha), como exemplo do trabalho realizado.



Figura 9. Reunião com gestores da cidade de Codó/MA.



Figura 10. Levantamento da cota de inundação na localidade Ponte do Sardinha em Cantanhede/MA.

## 6.2. Emissão de Boletins

A partir deste ano de 2021, além dos boletins com a previsão de curto prazo, os boletins de alerta hidrológico, passaram a ser emitidos boletins semanais apresentando a situação geral observada nos últimos sete dias, chamados de boletins de monitoramento hidrológico, que trazem também a previsão pluviométrica segundo imagens de satélite, de forma a embasar um prognóstico sobre as condições futuras de médio prazo (7 e 15 dias).

Foram emitidos 15 boletins de monitoramento hidrológico, iniciando em 15/02/2021 e concluindo em 17/05/2021. As datas das publicações estão listadas na Tabela 7.

Tabela 7. Data das emissões dos Boletins de Monitoramento Hidrológico.

Boletim Semanal	Data de Emissão	Boletim Semanal	Data de Emissão
Nº 1	15/02/2021	Nº 9	12/04/2021
Nº 2	22/02/2021	Nº 10	19/04/2021
Nº 3	01/03/2021	Nº 11	26/04/2021
Nº 4	08/03/2021	Nº 12	03/05/2021
Nº 5	15/03/2021	Nº 13	10/05/2021
Nº 6	22/03/2021	Nº 14	17/05/2021
Nº 7	29/03/2021	Nº 15	24/05/2021
Nº 8	05/04/2021		

Para divulgação dos boletins, sejam os de monitoramento, sejam os de alerta, foram adotadas as seguintes ferramentas: i) disponibilização no endereço eletrônico <http://www.cprm.gov.br/sace/>; ii) encaminhamento via e-mail; iii) divulgação em grupo específico do Whatsapp onde participam os representantes das prefeituras e do Corpo de Bombeiros.

Dos canais de comunicação é explícito o alcance mais efetivo do grupo de Whatsapp, tanto pela velocidade com que as informações são trocadas, quanto pela maior iteração permitida. O grupo possui ao menos um representante de cada município como administrador e a presença dos bombeiros militares permitiu que o grupo se mantivesse sempre focado em questões técnicas, facilitando a difusão de eventuais alertas.

Quanto aos boletins de alerta hidrológico, os mesmos foram emitidos acompanhando o evento máximo registrado no ano, entre 28 de março e 02 de abril, quando se teve a quase inundação em Codó/MA e as cotas em Coroatá/MA se mantiveram acima da cota de Alerta. Neste período foram emitidos 13 boletins, com frequência diária de três boletins nos dias 28 e 29 de março, quando o nível estava em elevação e havia risco de inundação, dois boletins entre os dias 30 de março e 01 de abril, quando o nível já estava regredindo, e um boletim no dia 02 de abril, quando o nível em Coroatá/MA retornou para as condições de normalidade, situação também verificada em todas as demais estações, o que justificou a interrupção da emissão dos boletins extraordinários.

Como não houve mais a suplantação da cota de alerta em nenhuma das cidades monitoradas após tal evento, não houve motivo para emissão de boletins de alerta hidrológico, tendo sido mantida apenas a publicação dos boletins semanais de monitoramento hidrológico.

É importante ressaltar que, tanto por e-mail quanto no Whatsapp, a divulgação de um boletim extraordinário é acompanhada de texto explicativo, de forma a facilitar o entendimento do quadro pelos gestores.

A Tabela 8 resume o número de boletins emitidos, por tipo, e o período correspondente.

Tabela 8. Boletins emitidos pelo SAH/Itapecuru em 2021.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Período de Emissão</b>
Alerta Hidrológico	13	28/03/2021 a 02/04/2021
Monitoramento Hidrológico	15	15/02/2021 a 24/05/2021

## **7. CONCLUSÕES**

As condições climáticas observadas, com precipitação abaixo da média nas porções sul e central da bacia, acabaram por não permitir o desenvolvimento de eventos de cheia significativos do rio Itapecuru neste ano de 2021.

Na cidade de Caxias/MA, o rio manteve-se bem abaixo dos valores mais frequentes de cota durante praticamente todo o período monitorado, nunca chegando a alcançar nem mesmo a cota de atenção definida para aquela cidade (4,00 m).

Na cidade de Codó/MA o rio apresentou apenas um evento significativo de cheia entre os dias 28 e 29 de março, quando praticamente igualou a cota de inundação (6,80 m). Afora isso, manteve-se com cotas baixas, sempre inferior à cota de atenção (4,80 m) e, em muitas ocasiões, abaixo da cota com permanência de 25%.

O rio Itapecuru em Coroatá/MA também só apresentou como significativo o evento dos dias 28 a 30 de março, quando a cota do rio superou a de alerta (7,00 m), mas permaneceu abaixo da cota de inundação (8,60 m). Também nessa cidade prevaleceram as cotas abaixo da média histórica.

Em Cantanhede/MA e em Itapecuru-Mirim/MA, apesar da pluviometria mais favorável, a baixa contribuição de montante acabou por impedir que as cotas superassem as cotas de alerta em ambas as cidades neste primeiro ano após sua inclusão no SAH/Itapecuru.

Apesar de não ter funcionamento efetivo quanto às inundações neste ano de 2021, acredita-se que o SAH/Itapecuru conseguiu demonstrar a importância do monitoramento e das previsões realizadas como instrumento de prevenção e redução de prejuízos quando da ocorrência de eventos de cheias significativos, especialmente para os novos gestores que assumiram em 2021 e para os das cidades de Cantanhede/MA e Itapecuru-Mirim/MA incluídas neste ano.

Deve ser ressaltada a importância do trabalho de campo realizado no início do mês de março, apesar de todas as dificuldades e limitações impostas pela pandemia, que possibilitou não só a inclusão das cidades de Cantanhede/MA e Itapecuru-Mirim/MA no rol daquelas beneficiadas pelo sistema, como permitiu o contato entre os técnicos da CPRM e aqueles que têm o poder de ação efetiva, garantindo um laço de confiança que aumentam o grau de creditação no resultado das previsões realizadas e nos frutos das ações preventivas adotadas tempestivamente.

Destaca-se, ainda, o início da emissão dos boletins de monitoramento hidrológico, semanais, que permitiram demonstrar à sociedade em geral os trabalhos contínuos de monitoramento realizados mesmo quando da não ocorrência de eventos de cheias mais significativos.

## 8. AGRADECIMENTOS

A operação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Itapecuru no ano de 2021 só foi possível com a utilização dos dados hidrológicos provenientes da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e demais parceiros. Por meio de Termo de Execução Descentralizada (TED) de operação da RHN, a Agência Nacional de Águas disponibiliza apoio operacional e financeiro para operação e manutenção das estações da RHN/RHNR, bem como para uso de equipamento de medição.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E. H. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão – Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 11, p. 97-113, fev. 2004.

BEZERRA, A. S. **Contribuição à geomorfologia da bacia do Itapecuru, Maranhão**. 1984. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UNESP, Rio Claro, SP, 1984.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão - Diretrizes Gerais para a Ordenação Territorial**. Salvador: IBGE, 1997.