ESTUDOS HIDROLÓGICOS: ENCHENTES E INUNDAÇÕES NO RIO GRANDE DO SUL

ATIVIDADES DA ANA E DO GTA RS

Relatório final das atividades desenvolvidas a partir da ocorrência das enchentes de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul

25 anos

ANA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

Estudos hidrológicos – enchentes e inundações no Rio Grande do Sul

ATIVIDADES DA ANA E DO GTA RS

– Relatório final –

APRESENTAÇÃO

As enchentes e inundações de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul constituíram o maior desastre hidrológico da história do estado, afetando 478 dos 497 municípios gaúchos e impactando cerca de 2,4 milhões de pessoas. Diante da magnitude deste evento extremo, a ANA, em parceria com instituições especializadas, desenvolveu estudos técnico científicos com o objetivo de caracterizar os fenômenos ocorridos e fornecer subsídios para a reconstrução resiliente e o aprimoramento dos sistemas de prevenção e preparação.

Este relatório final apresenta os resultados das principais atividades desenvolvidas diretamente pela ANA e também em parceria com outras instituições, que incluem: a delimitação das manchas de inundação observadas; estudos hidrológicos de caracterização dos eventos e revisão de parâmetros de projeto (curvas IDF, regionalização de vazões máximas e modelagem hidrodinâmica regional); desenvolvimento de diretrizes para incorporação dos impactos da mudança climática; melhorias na rede de monitoramento hidrometeorológico; expansão da base de dados meteorológicos; e atualização do Atlas de Vulnerabilidade a Inundações. Também está relatado o trabalho coordenado do Grupo Técnico de Assessoramento para Estudos Hidrológicos e de Segurança de Infraestruturas de Reservação e de Proteção das cheias no Estado do Rio Grande do Sul (GTA RS), que reuniu 15 instituições especializadas para desenvolver conhecimento científico aplicado à gestão de riscos hidrológicos.

Os estudos realizados geraram informações que já estão sendo incorporadas nas diretrizes técnicas para projetos de reconstrução financiados com recursos públicos, contribuindo para que o Rio Grande do Sul alcnce maior resiliência aos eventos climáticos extremos.

- **IDENTIFICAÇÃO DOS ESTUDOS E AVALIAÇÕES NECESSÁRIOS**

A partir da atuação na crise e das interações com as diversas instituições envolvidas na resposta ao desastre, a ANA buscou identificar as principais demandas de informações hidrológicas necessárias para apoiar os processos de reconstrução e o desenvolvimento de medidas de prevenção e preparação para eventos futuros.

Esse processo de identificação envolveu articulações com órgãos federais, estaduais e municipais, com foco nas necessidades de médio prazo (cerca de 6 meses) para aporte de contribuições técnicas. As principais demandas identificadas incluíram: definição de vazões máximas de referência para diferentes tipologias de eventos (elevação rápida com correnteza versus inundação gradual); delimitação das manchas de inundação máximas; subsídios para elaboração de projetos de infraestrutura com margens de segurança adequadas aos impactos da mudança climática; apoio técnico para questões de qualidade da água em sistemas de abastecimento afetados; e identificação de lacunas no conhecimento hidrológico e na disponibilidade de dados de monitoramento.

As articulações foram realizadas com a Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC/MIDR), o programa Vigiágua, a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA-RS), a

Casa Civil da Presidência da República, o Ministério das Cidades e a Secretaria da Reconstrução Gaúcha, entre outros atores relevantes. Este mapeamento de necessidades orientou o planejamento e a priorização das atividades técnicas subsequentes, assegurando que os estudos desenvolvidos atendessem às demandas mais urgentes para a tomada de decisão pelos gestores públicos.

- **DELIMITAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO OBSERVADA**

A delimitação da mancha de inundação observada que seja consenso entre os órgãos federais, utilizada para os programas e ações de resposta, como pagamento de auxílios, é um esforço coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com a colaboração da ANA, da Diretoria de Serviço Geográfico – DSG do Exército, Cemaden, IBGE, Serviço Geológico do Brasil – SGB, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, entre outros.

Foram produzidas duas versões da mancha de inundação, em 25 e 28 de maio, além de adições de detalhamento de cidades específicas (Arroio do Meio, Cachoeirinha, Gravataí, Venâncio Aires, Estrela, Alvorada, Igrejinha, Rolante, Sapucaia do Sul, Taquara, Taquari e Triunfo). A publicação da versão mais recente e sua divulgação para o público em geral depende de confirmações em campo e será realizada pelo INPE em articulação com a Casa Civil.

Como produtos iniciais de suporte e com base em ferramentas disponíveis, a ANA produziu versões de modelo digital do terreno e produtos derivados das bacias hidrográficas do Guaíba e do RS, todos disponibilizados no seu portal de metadados, conforme quadro a seguir.

A participação da ANA nesta atividades foi concluída em setembro de 2024.

Bacias Hidrográficas do Guaíba:	
Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 6 (BHO 6) - Guaíba	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/60bc759b-c466-4410-9343-aee763f16262)
ANADEM – Modelo Digital de Terreno das Bacias Hidrográficas do Guaíba (Resolução Espacial de 30 metros)	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/a5b8f184-d4e3-45e6-a62b-e76d1f255f55)
Modelo Digital de Terreno Multiescalas das Bacias Hidrográficas do Guaíba (Resolução Espacial de 20 metros)	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/e63e6712-4c26-4dcb-9907-6d4849617b54)
Modelo Digital de Terreno Multiescalas das Bacias Hidrográficas do Guaíba (Resolução Espacial de 10 metros)	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/eba2e908-071d-48a1-af85-7311336e2dfe)
Modelo Digital de Terreno Multiescalas das Bacias Hidrográficas do Guaíba (Resolução Espacial de 5 metros)	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/e58d76d2-ce7c-42d4-984c-427b7cab2e59)
Modelo Digital de Terreno Multiescalas das Bacias Hidrográficas do Guaíba (Resolução Espacial de 2,5 metros)	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/c83db2c2-bc0c-4a52-ac63-5cebe91e856f)
WorldDem Neo - Produtos Derivados do Modelo Digital de Terreno das Bacias Hidrográficas do Guaíba (Resolução Espacial de 5 metros)	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/ebcfef3b-6e3b-4574-a913-21c8f6c0f2d1)
Bacias Hidrográficas do RS:	
Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 6 (BHO 6) - Bacias do Rio Grande do Sul	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/fad3c6a7-2a3b-4e44-a5d0-28abd8c06fa2)
ANADEM – Modelo Digital de Terreno das Bacias Hidrográficas do RS (Resolução Espacial de 30 metros)	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/06eb254d-e45a-4c2b-9226-8e30d6afaa0d)
Modelo Digital de Terreno Multiescalas das Bacias Hidrográficas do RS (Resolução Espacial de 20 metros)	(https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/85e68eee-fdda-4346-b0d9-dd9c9546bbd1)

- **CONTRATAÇÃO DE LEVANTAMENTO CARTOGRÁFICO DE PRECISÃO**

A ANA forneceu à Casa Civil a indicação dos requisitos técnicos e avaliação das opções disponíveis para a contratação de levantamento cartográfico de precisão para a região atingida pelas cheias e inundações de abril e maio de 2024, abrangendo perfilamento laser para toda a área atingida e bacias de contribuição e aerolevantamento e restituição na escala 1:25.000 para as cidades com calamidade ou emergência mais severa reconhecida. A contratação deverá gerar modelo digital do terreno capaz de permitir modelagem hidrológica melhorada.

A ANA colaborou com o planejamento da contratação, atendendo à solicitação da Casa Civil. A contratação dos serviços está a cargo do MIDR. Em fevereiro de 2025 o MIDR lançou o edital de licitação para a contratação de serviços de aerolevantamento nas bacias do Guaíba e Litorânea, áreas diretamente impactadas pelas recentes enchentes no Rio Grande do Sul. Em julho do mesmo ano a informação é de que o serviço foi contratado e se encontra na fase de elaboração do plano de trabalho.

Os resultados serão utilizadas na realização de estudos ambientais, modelagem hidrodinâmica, controle de riscos e atualização de mapas topográficos.

- **OBTENÇÃO DE DADOS DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS**

A ANA desenvolveu esforços sistemáticos para ampliar significativamente a base de dados meteorológicos disponível no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), com foco especial na obtenção de informações de precipitação sub-diárias necessárias para estudos e modelagens em desenvolvimento.

a. Articulação com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA)

A ANA estabeleceu parceria estratégica com o DECEA para obtenção de dados do monitoramento meteorológico dos aeródromos brasileiros. Como resultado desta articulação, foram disponibilizados à ANA dados de 185 estações meteorológicas automáticas, contendo séries históricas de dados que variam de 1 a 75 anos, que estão sendo incorporados ao SNIRH.

b. Parceria com Concessionárias Rodoviárias

Caminhos da Serra Gaúcha (CSG): A ANA articulou com a concessionária CSG, que administra rodovias da Serra Gaúcha e Vale do Caí (ERS-122, ERS-446, RSC-287, RSC-453, BRS-470 e ERS-240), o compartilhamento de dados de 6 estações meteorológicas desde junho de 2024. A solicitação foi formalizada através do Ofício nº 54/2024/SGH/ANA, de 12/08/2024 (documento nº 02500.047443/2024). Atualmente os dados telemétricos estão sendo incorporados automaticamente no Sistema Hidro, por meio de Serviço Web disponibilizado pela ANA.

Rota de Santa Maria: Foram disponibilizados dados climatológicos diários abrangentes (temperatura, chuva acumulada, vento, rajada, umidade, luminosidade, radiação, evapotranspiração, temperatura e umidade do solo e foliar) de 3 estações da concessionária Rota de Santa Maria no RS (RSM001 - KM 55 – MARIANTE: dados de junho/2023 a julho/2024; RSM002 - KM78 - VENÂNCIO AIRES: dados de janeiro a julho de 2024; RSM003 - KM 190 – AGUDO: dados de janeiro a julho de 2024).

c. Articulação com o Estado do Rio Grande do Sul

A ANA identificou a possibilidade de disponibilização no SNIRH de dados pluviométricos de 83 estações meteorológicas operadas pelo Estado do Rio Grande do Sul através do Sistema de Monitoramento e Alertas Agroclimáticos (SIMAGRO/RS). Para formalizar esta parceria, foi encaminhado à Secretaria de Estado da

Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul, no dia 16 de setembro de 2024, o Ofício nº 60/2024/SGH/ANA (Documento nº 02500.054186/2024-97), solicitando acesso aos dados históricos observados do monitoramento meteorológico telemétrico e avaliação da possibilidade de estabelecimento de protocolo para atualização automática dos dados no SNIRH-Plataforma Hidro. No entanto não houve retorno com relação ao pleito, portanto não há dados gerados pela instituição disponíveis no SNIRH.

d. Dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

Os dados sub-diários dos reservatórios despachados pelo ONS passaram a ser disponibilizados em seu portal de dados abertos, acessível em:

https://dados.ons.org.br/dataset/dados_hidrologicos_ho/resource/976c7aae-5dd2-4a49-b92f-5e880a44e26c, complementando as informações hidrológicas disponíveis.

- **MELHORIAS NOS ARRANJOS DAS ESTAÇÕES TELEMÉTRICAS**

A ANA trabalhou em conjunto com o SGB para reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência das estações hidrológicas durante a ocorrência de cheias e, consequentemente, possibilitar o registro e a transmissão dos dados de chuva e nível antes, durante e após eventos extremos. As intervenções realizadas contemplaram diversos arranjos estruturais, dependendo de cada estação, adotando-se soluções que variaram desde a estrutura da instalação das estações até a utilização de redundância de sensores, permitindo o acompanhamento de grandes variações no nível dos rios.

Durante o período de execução, foram implementadas as seguintes melhorias:

a. Reinstalação das seções de réguas utilizando estruturas de concreto construídas nas margens dos rios, proporcionando maior durabilidade e resistência às intempéries;

b. Reinstalação das Plataformas de Coletas de Dados – PCDs e seus acessórios em postes de mais de 11 metros de altura, aumentando significativamente a resiliência das estações durante eventos de cheia;

c. Utilização de dois sensores de medição de nível do rio posicionados em cotas diferentes para garantir medições redundantes durante inundações, assegurando a continuidade do monitoramento mesmo em condições extremas.

Além das melhorias estruturais implementadas, nas estações hidrológicas utilizadas para alerta e acompanhamento de eventos extremos foi realizado o aumento da frequência de transmissão via satélite e disponibilização de dados de chuva e nível dos rios, reduzindo o intervalo de 1 hora para 15 minutos, proporcionando maior agilidade na emissão de alertas.

No que se refere à recuperação das estações danificadas no evento extremo de maio de 2014, observou-se evolução progressiva ao longo do período: em agosto de 2024, das 19 estações de responsabilidade da ANA/SGB que foram avariadas, 15 haviam sido recuperadas. Este número aumentou para 18 estações recuperadas nos períodos subsequentes, demonstrando o esforço contínuo de reabilitação da rede de monitoramento.

O SGB, em acordo com a ANA, priorizou a recuperação das estações para garantia da continuidade do monitoramento e transmissão dos dados em tempo real. O levantamento das seções transversais, com base nos procedimentos constantes do Manual de Levantamentos Topobatimétricos e Geodésicos aplicados à Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), e as medições de vazão realizados após o evento de cheia estão sendo incorporados na base de dados Hidro, para estabelecimento de novas curvas-chave.

- **ATLAS DE VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES**

A ANA atua para a atualização e aprimoramento do *Atlas de Vulnerabilidade a Inundações*, originalmente publicado em 2014. A nova edição incorpora uma metodologia revisada, que visa estimar o risco de inundações nos municípios cujas áreas urbanizadas são cortadas por cursos d'água, com base na integração de três abordagens complementares:

- cruzamento de áreas urbanas com manchas de inundação, quando disponíveis;
- estimativa do tempo de retorno das cheias associadas a desastres reportados no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), com base em dados de estações fluviométricas próximas; e
- aplicação de uma matriz de classificação de risco aos registros históricos de desastres e danos humanos constantes no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID)[1].

Considerando a gravidade dos eventos hidrológicos ocorridos entre abril e maio de 2024, o Estado do Rio Grande do Sul foi priorizado na atualização do estudo, com a incorporação de dados específicos e atualizados à análise. As próximas etapas contemplam a validação técnica dos resultados e a pactuação institucional com os órgãos gestores de recursos hídricos e de defesa civil do Estado, além da apresentação dos produtos ao Serviço Geológico do Brasil (SGB) e ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden).

A publicação dos resultados do *Atlas* para o Estado do Rio Grande do Sul está prevista para o terceiro trimestre de 2025. De forma paralela, está programada a apresentação dos resultados preliminares aos órgãos gestores dos Estados de Santa Catarina e Paraná, ainda no segundo semestre de 2025, como parte do esforço contínuo da ANA para qualificar o planejamento e a gestão do risco de inundações em nível nacional.

- **GTA RS**

A ANA instituiu o Grupo Técnico de Assessoramento para Estudos Hidrológicos e de Segurança de Infraestruturas de Reservação e de Proteção das cheias no Estado do Rio Grande do Sul (GTA RS), por meio da Portaria ANA nº 490, de 27 de maio de 2024, com duração de um ano. Seu objetivo é a promoção e execução dos estudos hidrológicos de caracterização dos eventos e estudos para o planejamento e a segurança de infraestruturas de reservação e de proteção de cheias no Estado do Rio Grande do Sul.

O ato inicial foi modificado pela Portaria ANA nº 497, de 11 de julho de 2024, para a inclusão de novos membros. Desde então, o GTA RS FOI constituído por:

I. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que o coordena;
II. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por meio do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) e do Centro de Pesquisa e Estudos sobre Desastres do Rio Grande do Sul (CEPED/RS);
III. Universidade de Brasília (UnB);
IV. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro);
V. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS);
VI. Serviço Geológico do Brasil (SGB);
VII. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);
VIII. Universidade de Passo Fundo (UPF);
IX. Universidade Federal da Paraíba (UFPB);

[1] https://s2id.mi.gov.br/paginas/index.xhtml

X. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG);
XI. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa);
XII. Universidade Federal do Rio Grande (FURG);
XIII. Universidade Federal de Pelotas (UFPEL);
XIV. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); e
XV. Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

O GTA RS se reuniu inicialmente em 5 de junho de 2024, totalizando 14 reuniões até o dia 10 de abril de 2025. Nas reuniões, foram compartilhados os estudos e as ações desenvolvidos pelos participantes e que poderiam contribuir com a construção dos resultados esperados (informações e orientações para a reconstrução e para medidas de preparação para enchentes e inundações).

Além dos encontros gerais, foram realizadas reuniões com subgrupos dedicados a assuntos específicos, notadamente a revisão das curvas IDF, regionalização de vazões máximas, reavaliação da rede hidrometeorológica telemétrica e avaliação da segurança de barragens em áreas afetadas.

No âmbito do GTA RS, foram produzidas duas notas técnicas, uma pelo IPH-UFRGS[2] e outra pela ANA[3], com diretrizes para a consideração de impactos da mudança do clima na adaptação ao risco hidrológico de eventos extremos de máxima na Região Sul do Brasil. Ambas foram encaminhadas aos órgãos competentes e passaram a ser adotadas no dimensionamento de obras de reconstrução a serem financiadas com recursos estaduais e federais.

Para a execução das atividades previstas, a ANA realizou descentralizações de recursos para instituições de pesquisa. Os trabalhos foram desenvolvidos com acompanhamento da ANA e dos participantes do GTA-RS, de acordo com suas especialidades, que validaram metodologias, dados de entrada e resultados.

Ao longo da atuação do GTA-RS, o conjunto dos estudos produzidos foi compartilhado com as instituições com atuação na reconstrução, preparação e prevenção nos governos federal, estadual e municipais. Entre as consequências, destaca-se a decisão da Casa Civil da Presidência da República, que por meio da Resolução Nº 3, de 15 de abril de 2025, incluiu nas diretrizes de governança e técnicas a serem observadas por órgãos e entidades na aplicação dos recursos do Fundo de Apoio à Infraestrutura para Recuperação e Adaptação a Eventos Climáticos Extremos(FIRECE), destinados à elaboração e execução de projetos e obras de proteção contra cheias na Região Metropolitana de Porto Alegre e nos vales dos rios Sinos, Caí e Gravataí, no Estado do Rio Grande do Sul, a recomendação de "utilizar na elaboração e revisão dos projetos os parâmetros hidrológicos e hidráulicos atualizados para as condições climáticas extremas observadas em 2023 e 2024. Os projetos deverão adotar prioritariamente e conforme a disponibilidade, os parâmetros hidrológicos mais recentes produzidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e seus parceiros no âmbito dos trabalhos Grupo Técnico de Assessoramento para Estudos Hidrológicos e de Segurança de Infraestruturas de Reservação e de Proteção das cheias no Estado do Rio Grande do Sul (GTA RS), constituído por meio da Portaria ANA nº 490, de 27 de maio de 2024, alterada pela Portaria ANA nº 497, de 11 de julho de 2024".

Segue resumo dos resultados alcançados junto às equipes da Universidade Federal da Paraíba (a), Universidade federal de Minas Gerais (b) e Universidade Federal do Rio Grande do Sul (c).

[2] https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/05/CriteriosAdaptacaoMudancaClimaticaChuvasCheiasExtremasSul.pdf
[3] file:///C:/Users/ana.fioreze/Downloads/Nota%20T%C3%A9cnica%203-2024-COMUC-SHE%20(2).pdf

a. Estudos emergenciais de avaliação de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para o Estado do Rio Grande do Sul

As curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) são instrumentos essenciais para dimensionar estruturas de drenagem e controle de enchentes, como bacias de detenção, diques e comportas. Pesquisadores do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, trabalhando com o GTA-RS, verificaram que as chuvas extraordinárias de abril e maio de 2024 elevaram significativamente as curvas IDF nas bacias dos rios Jacuí e Taquari-Antas. Este fato evidencia a urgente necessidade de reavaliar os parâmetros de projeto utilizados atualmente. Foram analisadas as precipitações máximas diárias históricas e as de 2024, além do cálculo dos parâmetros das curvas IDF e sua comparação com curvas preexistentes. Outro importante objetivo foi o de compreender o impacto das chuvas extremas de 2024 nas curvas IDF.

Na Figura 1, observa-se que, ao acumular a chuva em um período de 10 dias, o volume precipitado no evento de 2024 excede significativamente os registros de anos anteriores, com volumes maiores do que 400 mm em mais da metade das estações, chegando a ultrapassar 700 mm em alguns casos.

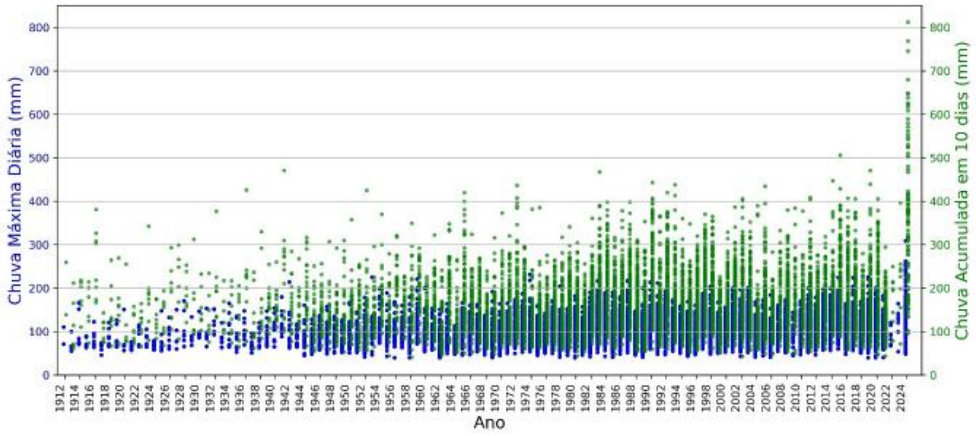


Figura 1. Precipitações máximas diárias (em mm) acumuladas em 10 dias, ocorridas no RS entre 1912 e 2024.

Além do volume, outro fator que contribuiu para o alto grau de destruição do evento foi sua abrangência espacial, concentrado praticamente dentro de uma única região hidrográfica (a bacia de contribuição ao rio Guaíba). A Figura 2 ilustra a variação do volume de precipitação considerando 10 dias de acumulação, destacando a extensão e severidade do evento.

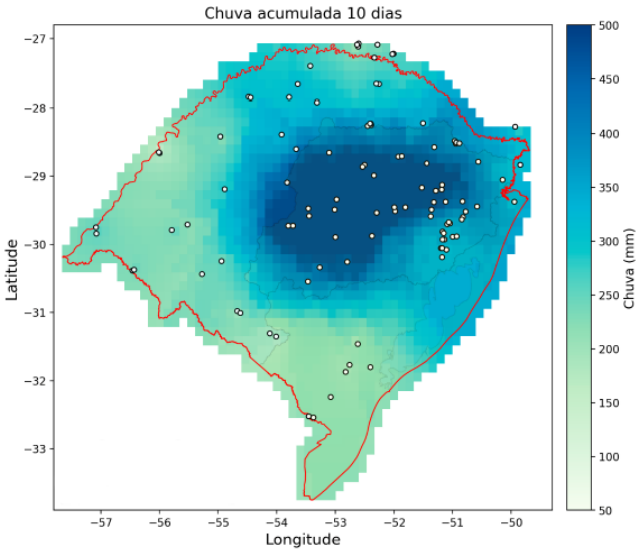


Figura 2. Distribuição espacial da precipitação máxima diária acumulada em 10 dias.

Em relação aos pontos de medição, o maior volume diário registrado foi de 308,8 mm, no município de Fontoura Xavier, conforme registro informado pelo CEMADEN. Os demais valores, de acordo com a série histórica disponível, ficam em torno de 250 mm, compatível com diversas outras máximas diárias registradas em diferentes redes de monitoramento e diferentes anos, de 1912 a 2024.

A fim de avaliar o impacto das chuvas de maio de 2024 sobre as curvas IDF, foi realizada uma análise minuciosa de comparação entre as curvas IDF construídas com e sem o evento de 2024 na série histórica. Quando as informações das estações em que 2024 representou a maior intensidade e variação relativa são espacializadas (Figura 3) percebe-se que a maioria das estações em que 2024 foi a máxima precipitação da série temporal estão justamente na região da bacia de contribuição do Guaíba (local onde o acúmulo de precipitação foi maior), mostrando que, de fato, a precipitação nessa região foi acima do esperado.

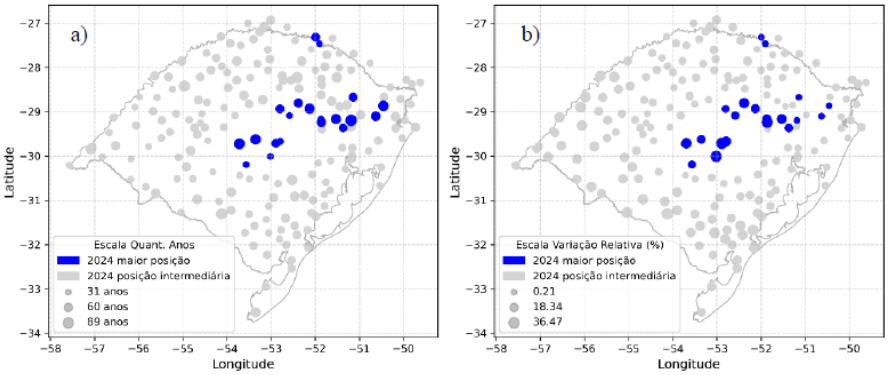


Figura 3. Espacialização das estações em que o ano de 2024 apresentou a maior precipitação em suas respectivas séries histórica. Os tamanhos dos pontos representam em a) avaliação de acordo com o número de anos e em b) avaliação de acordo com a variação relativa.

Ao analisar espacialmente as variações relativas das intensidades das curvas IDF para um período de retorno de 100 anos e duração de 1 hora (Figura 4) nota-se que, à medida em que ampliamos o intervalo de análise da variação relativa, as estações tendem a se concentrar na região de maior precipitação durante o evento de 2024 (a bacia do Guaíba).

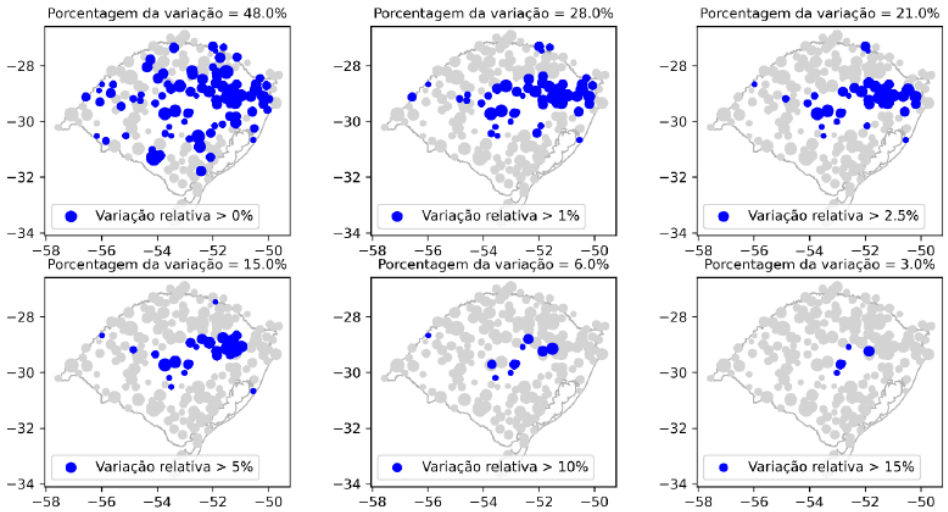


Figura 4. Espacialização das estações de acordo com a variação relativa das intensidades para período de retorno de 100 anos e duração de 1 hora. O tamanho dos círculos representa a quantidade de anos, variando de 31 a 105 anos.

Ao se avaliar as diferenças entre os valores de período de retorno das chuvas para as curvas IDF construídas sem e com o evento de 2024, considerando uma duração de 1440 minutos (24 horas) e uma intensidade de 8,33 mm/h (o que equivale a uma precipitação de 200 mm em um dia), conforme Figura 5, tem-se que, à medida em que aumenta o valor absoluto da diferença de anos do período de retorno, as estações ficam concentradas na região da bacia de contribuição ao Guaíba.

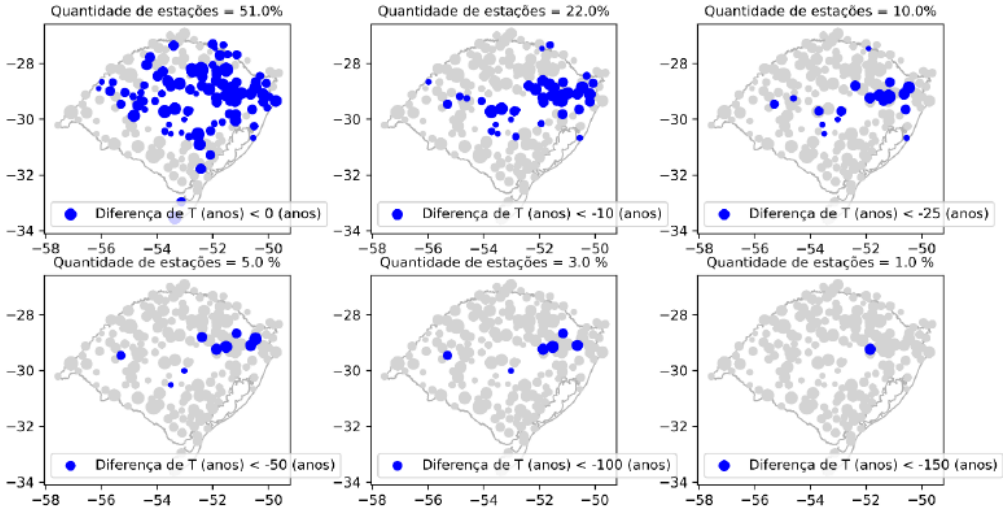


Figura 5. Espacialização das estações de acordo com a diferença em anos no período de retorno, para uma intensidade de 8,33mm/h e duração de 24 horas. O tamanho dos círculos representa a quantidade de anos, variando de 31 a 105 anos.

Esses resultados reforçam que, em termos de curvas IDF, a influência da precipitação do evento de 2024 está mais diretamente relacionada à localização das estações do que a qualquer outro fator analisado. Com base no histórico de dados deste estudo, pode-se afirmar que o grande diferencial do evento ocorrido em abril/maio de 2024 foi a sequência de dias com chuvas intensas e a extensa área de cobertura do evento, concentrado principalmente na região hidrográfica da bacia do rio Guaíba. Em alguns locais, a precipitação acumulada em 10 dias ultrapassou 700 mm, um valor significativamente

superior à média histórica da região, onde algumas estações possuem séries de dados com mais de 100 anos. Considerando a região hidrográfica da bacia do rio Guaíba, aproximadamente 78% da área total da bacia registrou um acumulado de chuva superior a 500 mm em um período de 10 dias.

A equipe da UFPB desenvolveu aplicativos permitindo a consulta de todas as informações sobre as curvas IDF calculadas, tanto para postos pluviométricos quanto para as sedes municipais do Rio Grande do Sul. Todas essas funcionalidades estão disponíveis em uma página na internet (cujos links e QR-codes são apresentados a seguir), que reúne, também, informações sobre o trabalho desenvolvido, os mapas utilizados, os dados e outros conteúdos relevantes.

Site	Link	QR
Hub Site Projeto	https://bit.ly/4kKunbg CLIQUE AQUI	
IDF por posto pluviométrico (Web-App)	https://bit.ly/41YBJiK CLIQUE AQUI	
IDF por município (Web-App)	https://bit.ly/4hgvtZy CLIQUE AQUI	

b. Estudos de regionalização de vazões máximas diárias anuais para o Estado do Rio Grande do Sul

Este estudo, desenvolvido no Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), estimou as vazões máximas diárias, para diferentes tempos de retorno (TR) nas estações fluviométricas, realizou a espacialização dessas informações para locais sem monitoramento sistemático e, adicionalmente, avaliou o impacto das cheias de 2024 nas estimativas de vazões máximas para diferentes tempos de retorno.

Estimativas de vazões de cheia são fundamentais a diversas atividades associadas à prática da Engenharia Hidrológica, como, por exemplo, dimensionamento de obras hidráulicas, sistemas de alertas as risco de inundações e planejamento, otimização e gestão de sistemas de recursos hídricos. Sob uma perspectiva prática, as vazões de cheia são comumente sintetizadas por meio de valores de referência, como por exemplo as vazões máximas anuais para tempos de retorno específicos como 100, 1.000 ou 10.000 anos.

Para as estimativas das vazões máximas o estado do RS foi dividido em regiões, conforme figura 6, com destaque para as regiões R1 – Taquari, R2 – Jacuí, R3 – Alto Uruguai e R4 – Médio Uruguai. Para cada região são definidos modelos que relacionam as variáveis de interesse com características físicas, climáticas, hidrológicas ou hidrogeológicas das bacias, por meio de regressão linear múltipla, conforme uma adaptação do método index-flood com momentos-L, proposto por Hosking e Wallis (1997).

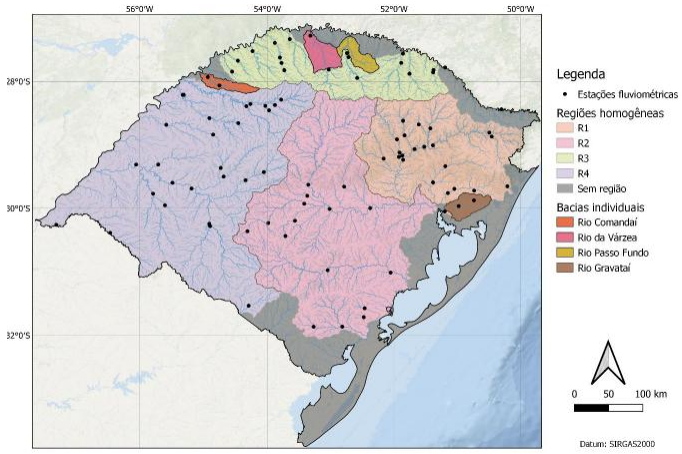


Figura 6. Configuração final das regiões estatisticamente homogêneas no RS

Além da regionalização das vazões máximas foi também realizada uma avaliação dos impactos das cheias de setembro e novembro de 2023 e de abril/maio de 2024 nas vazões máximas (e nos respectivos quantis admensionais de frequência para cada região). Como resultados verifica-se que nas quatro regiões houve aumento dos quantis adimensionais, sendo mais pronunciado na região R1 (Taquari) e menos na região R4 (médio Uruguai). Para períodos de retorno inferiores a 100 anos a mudança é negligenciável. No entanto, para grandes períodos de retorno a mudança é bastante significativa. Na tabela 1, encontra-se uma comparação para três períodos de retorno de referência.

Tabela 1. Período de retorno para algumas vazões de referência nos dois cenários avaliados (pré-2023 e pós 2023).

Região	Quantil adimensional de referência	Período de retorno (anos)	
		Pré 2023	Pós 2023
R1	2.55	100	77
	3.42	1000	582
	4.33	10000	4240
R2	2.10	100	88
	2.54	1000	755
	2.94	10000	6310
R3	2.06	100	88
	2.53	1000	778
	2.97	10000	6793
R4	2.19	100	93
	2.73	1000	865
	3.25	10000	7950

Mesmo para a região do Uruguai (R4), onde as mudanças foram menores, percebe-se o aumento do risco hidrológico (diminuição do período de retorno) para todos os quantis de referência, indicando que o risco, aumentou significativamente em todo o Estado. Cheias que ocorriam em média a cada 100 anos, por exemplo, após as cheias de 2023/2024 passaram a ocorrer entre 77 e 93 anos, dependendo da região. Para quantis mais raros, o impacto foi significativamente maior, como por exemplo, na região do Guaíba (R1) em que se estima que vazões máximas que ocorreriam, em média, a cada 1.000, poderiam ocorrer, em média a cada 582 anos.

A tabela 2 mostra a alteração na intensidade das chuvas máximas, antes e após 2023, considerando

períodos de retornos fixos. Com relação aos impactos das cheias de 2023/2024, a região do Taquari (R1) foi a mais afetada, com aumento de quase 10% nos quantis para tempo de retorno de 10.000 anos, por exemplo.

Tabela 2. Quantis adimensionais para período de retorno fixo nos 2 cenários avaliados.

Região		Quantis adimensionais		
	Período de retorno de referência (anos)	Pré 2023	Pós 2023	Aumento relativo (%)
R1	100	2.55	2.66	4.4
	1000	3.42	3.66	7.1
	10000	4.33	4.74	9.5
R2	100	2.10	2.13	1.4
	1000	2.54	2.60	2.1
	10000	2.94	3.02	2.8
R3	100	2.06	2.09	1.4
	1000	2.53	2.58	2.1
	10000	2.97	3.05	2.6
R4	100	2.19	2.21	0.8
	1000	2.73	2.77	1.3
	10000	3.25	3.30	1.6

c. Caracterização hidrológica dos eventos observados e modelagem de cheias em escala regional, incluindo impactos da mudança do clima.

Este projeto foi desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS), tendo como objetivos reconstruir os eventos de cheia de 2023 e 2024 ocorridos no Rio Grande do Sul através de análises detalhadas de dados de chuva, vazão, nível e aplicação de modelagem hidrológica e hidrodinâmica em escala regional, visando apoiar o diagnóstico das causas do desastre e fornecer um registro histórico detalhado dos acontecimentos, e recomendações técnico científicas para um futuro resiliente às cheias no estado do Rio Grande do Sul.

A distribuição espacial da chuva acumulada em todo o RS nos meses de abril e maio de 2024 é apresentada na Figura 7. Observa-se que a precipitação acumulada superou 1.000 mm ao longo de 21 dias, entre 25/04 e 15/05, em algumas regiões, e que a região que recebeu as chuvas mais intensas corresponde, aproximadamente, à bacia hidrográfica do rio Guaíba. A chuva acumulada excedeu 600 mm em uma área que se estende em um arco de 460 km de extensão, desde as cabeceiras do rio das Antas, na região dos Aparados da Serra, no Leste, até a bacia do rio Vacacaí, no Oeste. Os maiores valores de chuva acumulada ocorreram na parte central da bacia do rio Taquari-Antas e na bacia do rio Pardo. Além disso, a chuva intensa também atingiu a bacia do rio Jacuí, especialmente na região entre a UHE Passo Real e a confluência do rio Jacuí com o rio Vacacaí.

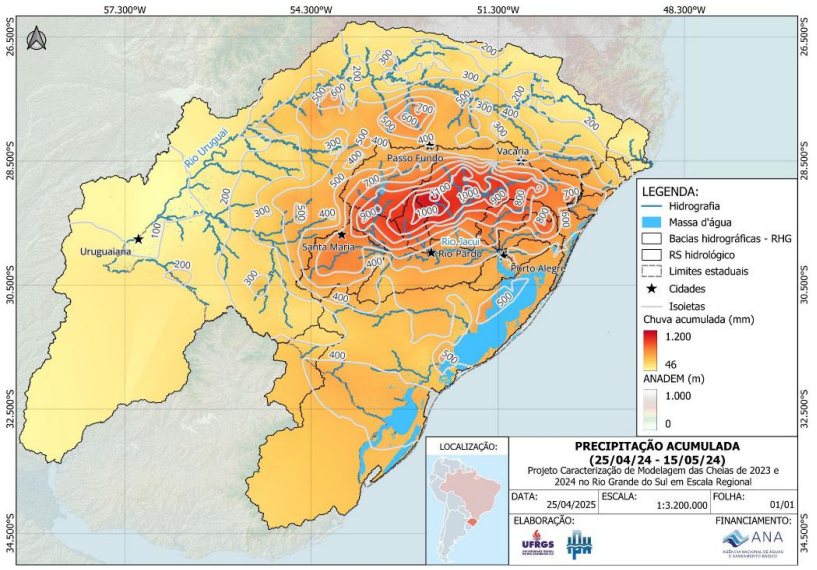


Figura 7. Mapa de distribuição espacial da chuva acumulada do evento de abril-maio de 2024 no RS.

Para exemplificar como a chuva evoluiu ao longo do tempo, a distribuição temporal da precipitação de 25 de abril a 15 de maio de 2024 na estação pluviométrica telemétrica de Muçum (código 86510000) é apresentada na Figura 8. Observa-se que a maior parte da precipitação ocorreu nos quatro dias entre 29 de abril e 02 de maio.

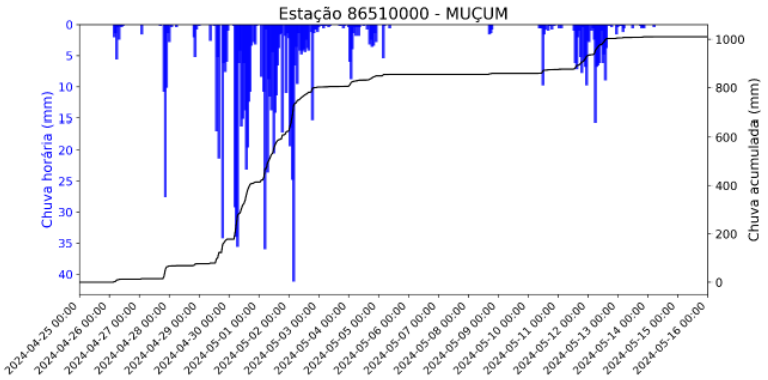


Figura 8. Chuva que ocorreu na estação Muçum (86510000) no evento de abril e maio de 2024.

A caracterização das cheias de 2023 e 2024 em escala regional foi realizada utilizando o modelo hidrológico-hidráulico de grandes bacias (MGB), através do qual foram estimadas variáveis características das cheias como: vazão máxima ($Qmáx$), vazão específica (q), tempo de pico (Tp), variação de nível (Δh), maior variação de nível em 12 horas $\Delta h12$ e o coeficiente de Creager (C). De forma geral, estes resultados permitem uma compreensão da dinâmica das cheias para os diferentes rios do RS, destacando as altas velocidades, elevadas vazões específicas e elevados níveis no rio Taquari e demais rios da região, porém com baixa duração da cheia, diferente do que ocorreu nas várzeas dos rios Jacuí, Guaíba e Laguna dos Patos, com níveis mais baixos e elevada duração.

As vazões máximas ocorridas atingiram níveis comparáveis a recordes globais, especialmente na cheia de 2024 nos rios Taquari, Jacuí e Guaíba. Em 2024 a área inundada foi de grande extensão no vale do Taquari, e nas planícies dos rios Jacuí, Caí, Sinos, Gravataí, no em torno do Guaíba e laguna dos Patos, além de outras regiões do estado do RS.

A Figura 9 apresenta o mapa indicando a magnitude das vazões máximas durante a cheia de maio de 2024 no RS. As maiores vazões ocorreram nos rios Taquari, Jacuí, Guaíba e no rio Uruguai, cuja bacia também foi atingida pelas chuvas.

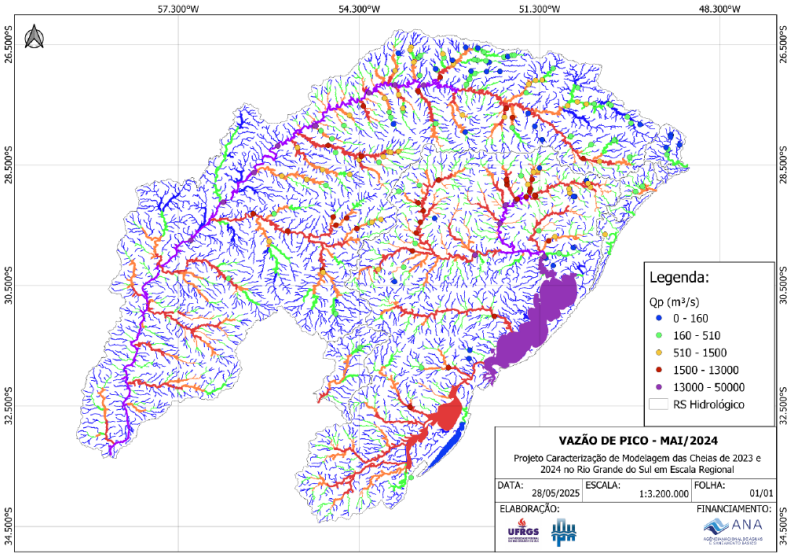


Figura 9. Vazão de pico observada em estações fluviométricas (pontos) e simuladas pelo modelo (linhas) para cada trecho de rio durante a cheia de maio de 2024 na região do RS hidrológico.

No rio Jacuí, a UHE Itaúba registrou uma vazão defluente máxima de 6.099 m³/s, um valor próximo da capacidade nominal de descarga do seu vertedor (7.236 m³/s). Na UHE Dona Francisca, cerca de 40 km a jusante, a vazão defluente máxima atingiu 12.048 m³/s, superando a capacidade nominal do vertedor, que é de 10.614 m³/s, dimensionado considerando uma cheia hipotética com tempo de retorno de 10 mil anos. Nesta UHE foi observado um rápido aumento da vazão, passando de menos de 2.000 m³/s para mais de 12.000 m³/s em apenas 10 horas.

A cheia de maio também provocou o rompimento parcial da barragem 14 de Julho, localizada no rio das Antas. No rio Taquari houve impacto sobre várias cidades ao longo de seu vale, desde Muçum até sua foz, próxima à cidade de Triunfo. No posto fluviométrico da cidade de Muçum a vazão máxima foi estimada em 13.199 m³/s.

No rio Forqueta, o pico de 2.626 m³/s na barragem Rastro de Auto excedeu a vazão de projeto do vertedouro (2.561 m³/s, definida considerando a vazão máxima de período de retorno de 1.000 anos). Na barragem Salto Forqueta, localizada a apenas 8 km a jusante, a cheia causou transbordamento, e a ombreira direita da barragem foi completamente erodida, formando uma brecha. A vazão específica máxima na barragem Rastro de Auto foi de 4,66 m³/s/km², representando a maior vazão específica medida durante a cheia em qualquer ponto dentro de toda a área afetada.

Como consequência da contribuição dos rios Guaporé, Forqueta e outros, a vazão máxima cresceu muito entre os postos fluviométricos de Muçum e Lajeado/Estrela. A vazão máxima estimada em Lajeado/Estrela foi 23.472 m³/s, equivalente a 95% da envoltória de recordes globais.

Na cidade de São Leopoldo, o rio dos Sinos registrou uma vazão de pico de 1.916 m³/s no dia 04 de maio às 12 horas. Esse pico coincidiu com o momento em que o nível do rio excedeu a elevação da crista de projeto do dique, resultando em inundação por galgamento na zona protegida da cidade.

Já no rio Guaíba, a vazão máxima foi superior a 30 mil m³/s, aproximando-se de 90% das máximas globais. O pico da cheia ocorreu no dia 05 de maio, com o nível d'água máximo atingindo 5,37 metros,

conforme registrado pelas marcas da cheia. Adicionalmente, uma segunda onda de cheia foi observada em Porto Alegre, ocasionando um segundo pico no rio Guaíba, que aconteceu cerca de 10 dias após o primeiro e com magnitude apenas um pouco inferior.

A Figura 10 apresenta as vazões máximas específicas observadas durante a cheia de 2024. Observa-se que os maiores valores ocorreram na região do rio Taquari-Antas. Além dessa região, altos valores de vazão específica também foram observados em áreas da cabeceira do rio Ibicuí, como o rio Jaguari, e em tributários do rio Jacuí, como o rio Ivaí.

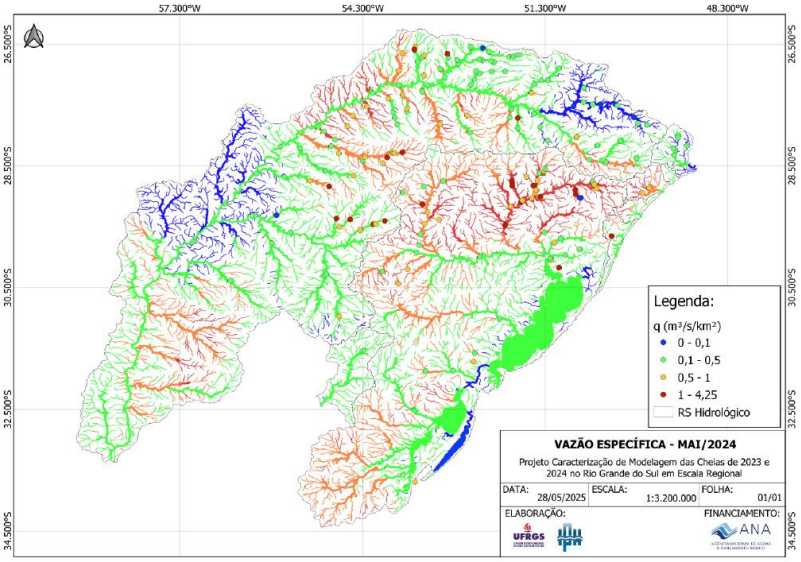


Figura 10. Vazão específica observada em estações fluviométricas (pontos) e simuladas pelo modelo (linhas) para cada trecho de rio durante a cheia de maio de 2024 na região do RS hidrológico.

O mapa da Figura 11, sobre os tempos de pico, mostra que na maioria dos rios menores no centro do RS o pico da cheia ocorreu no final de abril ou nos primeiros dois dias de maio. Já no rio Jacuí em Rio Pardo e no rio Guaíba em Porto Alegre o pico da cheia ocorreu no dia 05 de maio. Na Laguna dos Patos o pico da cheia ocorreu depois do dia 14 de maio.

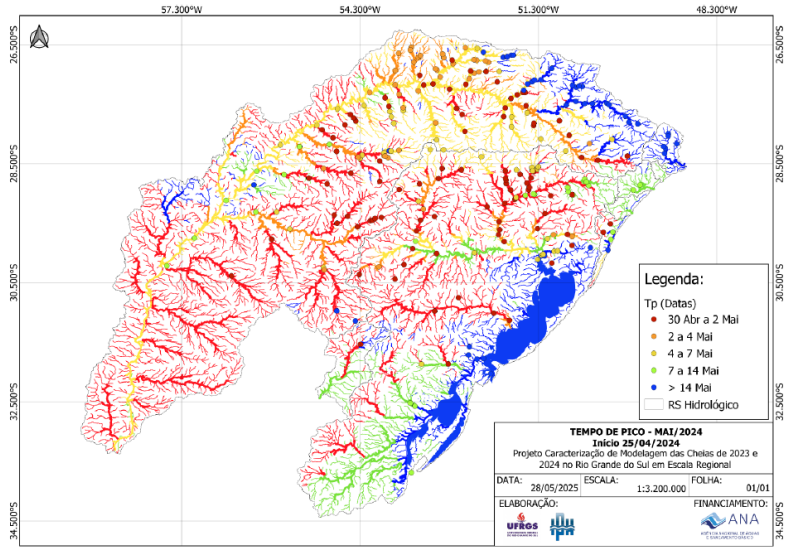


Figura 11. Tempo de pico observado em estações fluviométricas (pontos) e simuladas pelo modelo (linhas) para cada trecho de rio durante a cheia de maio de 2024 na região do RS hidrológico.

As cheias foram rápidas nos rios da região montanhosa do RS. Por exemplo, em 2024, o pico da cheia ocorreu no dia 02 de maio no rio Taquari, após cerca de 3 dias no Guaíba, na região de Porto Alegre, e após semanas na saída da Laguna dos Patos para o oceano.

O mapa da Figura 12 mostra a amplitude da cheia em termos de variação da cota do nível da água. Neste mapa é possível observar a variação da cota excedeu 10 metros em dezenas de locais, nos rios Caí, Uruguai e Ibicuí. Ao longo do rio Taquari a variação da cota superou 20 metros em diversos locais, reduzindo a medida em que a onda de cheia se propagou a jusante, sendo menores em regiões de planícies como no Guaíba e Laguna dos Patos (2 metros).

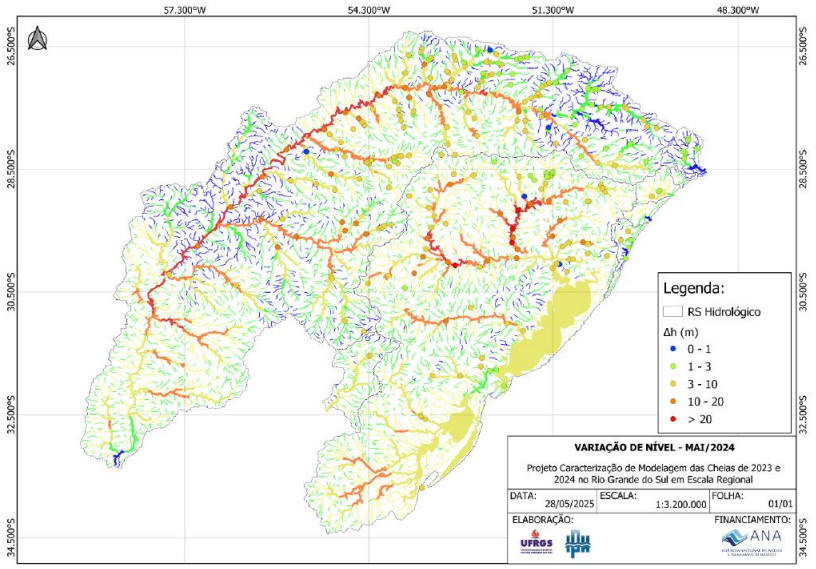


Figura 12. Variação de nível observada em estações fluviométricas (pontos) e simuladas pelo modelo (linhas) para cada trecho de rio durante a cheia de maio de 2024 na região do RS Hidrológico.

Manchas de inundação foram geradas para todo o estado do RS com a utilização do modelo de grandes bacias (MGB). A figura 13 representa a mancha de inundação máxima para o evento de maio/2024 no RS.

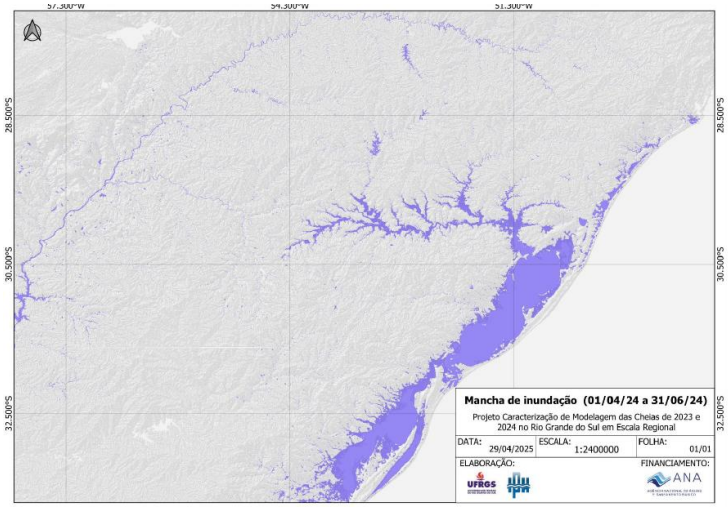


Figura 13. Manchas de inundação máximas para o evento de maio/2024 no RS.

A inundação de 2024 foi de curta duração (poucos dias) nos vales dos rios das montanhas (e.g. Taquari) mas com elevada profundidade d'água, superando 10 metros em alguns casos, indicando grande perigo hidrodinâmico e potencial destrutivo. Por outro lado, a inundação foi de grande extensão nas planícies dos rios Jacuí, Caí, Sinos, Gravataí, no em torno do Guaíba e laguna dos Patos, com elevada duração, de mais de 1 mês em alguns locais, mas com menor profundidade (e.g. até cerca de 3 metros nas áreas urbanas da região metropolitana de Porto Alegre).

A Figura 14 apresenta os resultados de durações da cheia considerando o evento de maio de 2024. O quadro A, mostra a região do vale do rio Taquari perto das cidades de Muçum, Lajeado, Estrela, entre outras, com durações da cheia da ordem de alguns dias, em geral menos de 5 dias. O quadro B, mostra a região do baixo rio Taquari, próximo da confluência com o rio Jacuí, com durações maiores, na ordem de uma a duas dezenas de dias. O quadro C, mostra a região de Porto Alegre, com destaque para a várzea do delta do Jacuí e Guaíba, com durações da ordem de 30 a 40 dias. Finalmente, o quadro D mostra as várzeas do rio Jacuí ente Dona Francisca e Guaíba, com durações variadas, mas atingindo também de 20 a 30 dias em algumas porções (menores a montante e maiores a jusante).

A Figura 15 mostra o mapa de profundidades, reforçando a informação de que na região dos rios de montanha, como o Taquari, as profundidades da água podem ter superado 10 metros, indicando o maior perigo hidrodinâmico e impacto nesta região. Por outro lado, na região baixa da bacia as profundidades de inundação foram menores, sendo por exemplo de até cerca de 3 metros nas áreas urbanas no entorno do Guaíba.

Os três estudos realizados foram apresentados e disponibilizados ao grupo do GTA-RS, à Casa Civil da Presidência da República, ao MCidades e ao MIDR em diferentes ocasiões. Também foram apresentados à Secretaria da Reconstrução Gaúcha e a outras autoridades estaduais. O terceiro estudo teve uma sessão de apresentação na ANA, aberta a todo os interessados, além de treinamento para especialistas no uso das ferramentas e modelos desenvolvidos.

Todos os relatórios, dados e informações gerados estão disponíveis e serão organizados em página específica do SNIRH para ampliar o acesso.

Além desses estudos, as discussões no âmbito do GTA-RS permitiram identificar lacunas de informação e trabalhar conjuntamente para resolver as questões em aberto. Destacam-se a necessidade de reavaliação da rede telemétrica no Estado e de registro e sistematização das marcas de cheia. As ações foram conduzidas em parceria com O SGB e colaboração de universidades e autoridades locais.

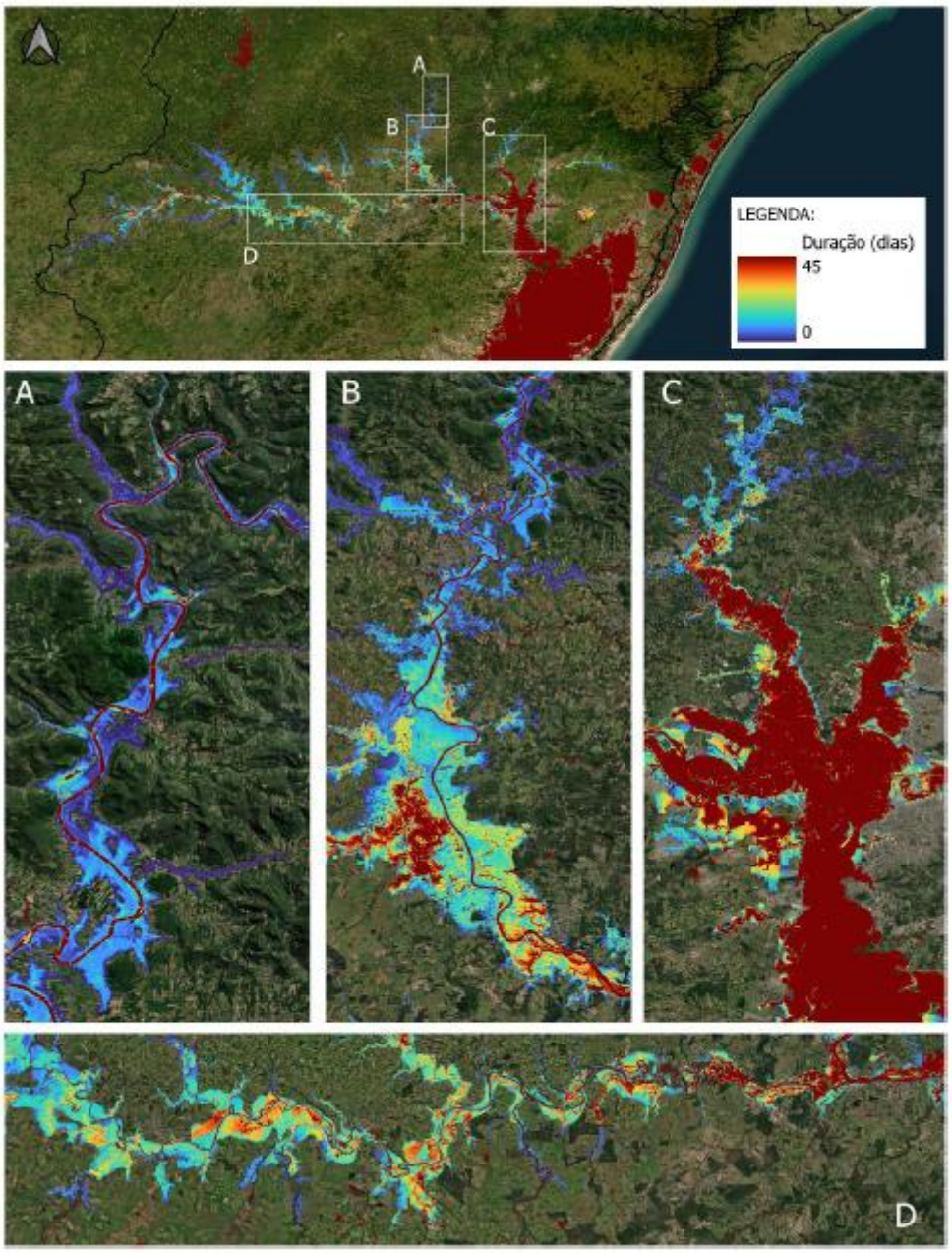


Figura 14. Duração da inundação cheia considerando o evento de maio de 2024. A) Zoom apresentando a região do alto rio Taquari; B) Zoom na região do baixo Taquari; C) Zoom na região metropolitana de Porto Alegre; e D) Zoom na região do baixo Jacuí.

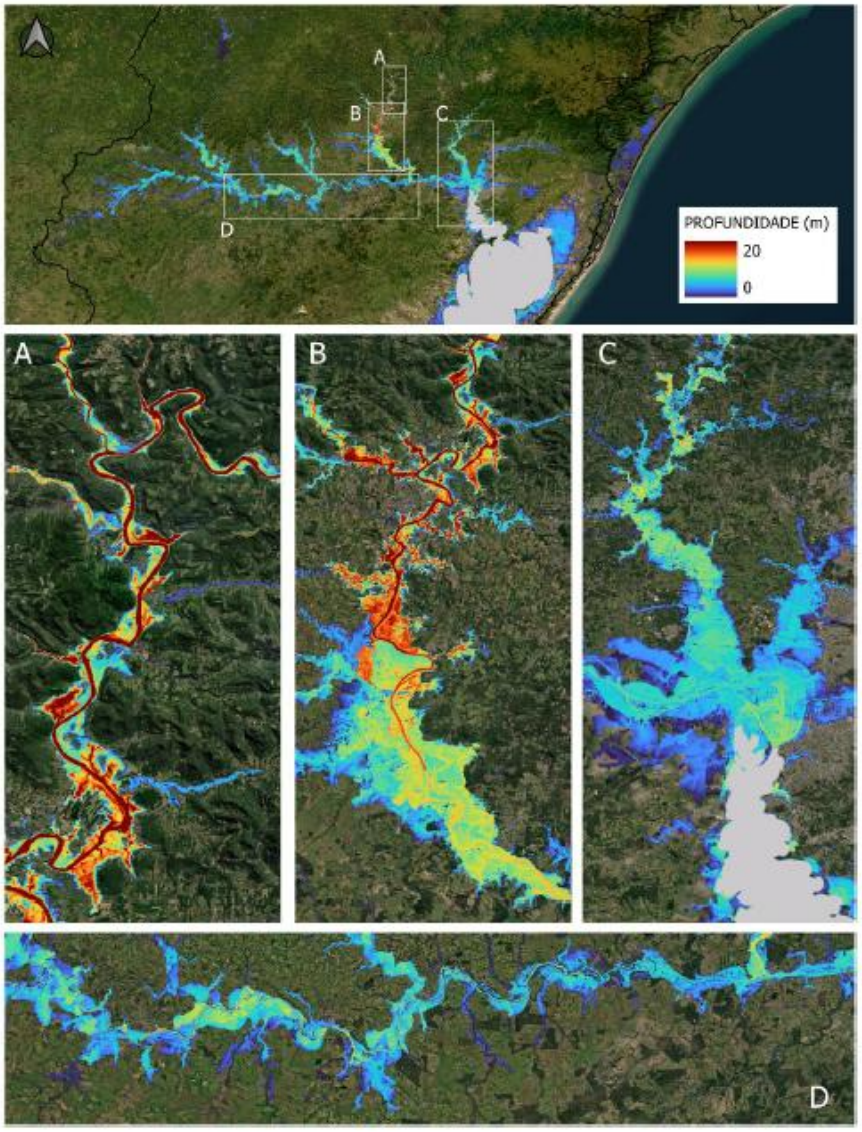


Figura 15. Profundidades considerando o evento de maio de 2024. A) zoom apresentando a região do alto rio Taquari; B) zoom na região do baixo Taquari; C) zoom na região metropolitana de Porto Alegre; e D) zoom na região do baixo Jacuí.

Além dos estudos realizados pelas universidades, a mobilização proporcionada pelo GTA-RS permitiu desenvolver atividades de melhoria dos dados hidrológicos e da rede telemétrica, em conjunto com usuários dos dados e das autoridades locais. Nesse sentido, foi realizada uma reavaliação da rede telemétrica do Rio Grande do Sul e foram registradas e sistematizadas as marcas de cheia do evento.

i. Reavaliação da rede telemétrica

Na sequência dos eventos extremos de abril/maio de 2024, verificou-se a necessidade de reavaliação das estações de monitoramento hidrometeorológico telemétricas, inclusive pluviométricas, para eventual complementação e realocação. O objetivo estabelecido foi aprimorar o monitoramento hidrológico nas bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul, garantindo a continuidade da transmissão de dados durante eventos extremos e promovendo o aumento das áreas monitoradas para melhorar as informações disponíveis aos sistemas de alerta e medidas de prevenção.

Ao longo do período, foram realizadas reuniões com universidades e instituições de pesquisa, gerando contribuições significativas para o aperfeiçoamento das redes de monitoramento sob responsabilidade da ANA (operada pelo SGB) e da SEMA-RS. Este processo colaborativo permitiu a identificação de diversas redes de monitoramento hidrológico existentes, iniciativas de aprimoramento em andamento e possibilidades concretas de compartilhamento de dados e informações no SNIRH.

Durante o processo de reavaliação, foram mapeadas as seguintes iniciativas estratégicas:

- Proposta da Casa Militar do RS: Elaboração de Termo de Referência para contratação de empresa especializada na prestação de serviço de implantação e operação de 130 estações de monitoramento hidrometeorológico (estações novas) destinadas a subsidiar a Defesa Civil Estadual. Em reunião realizada em 04/10/2024 com a Secretaria de Reconstrução Gaúcha e com a Casa Militar do Rio Grande do Sul, foram apresentadas as observações da ANA sobre este Termo de Referência, focando especialmente nas estações telemétricas que subsidiarão as ações da Defesa Civil Estadual para emissão de alertas.
- Proposta da SEMA/RS: Desenvolvimento de Termo de Referência para contratação emergencial de serviços abrangendo o diagnóstico da rede hidrológica remanescente, recuperação da rede de referência estadual (fluviométrica), manutenção emergencial pelo período de 1 ano e disponibilização de plataforma de gerenciamento de dados de monitoramento.
- Rede da Secretaria de Agricultura do RS: Identificação da rede de estações meteorológicas constituída por 83 estações automáticas completas, com perspectivas de instalação de mais 30 estações automáticas no curto prazo. Adicionalmente, foi mapeada a incorporação de dados de cerca de 60 estações meteorológicas da Cooperativa Agropecuária CCGL, com possibilidade de incorporação de dados no SNIRH por meio de acordo com o Estado.
- Parceria FURG e Portos RS: Consolidação da parceria entre a Fundação Universidade do Rio Grande – FURG e a Portos RS, no âmbito do contrato que rege o Programa de Monitoramento Ambiental Continuado do Porto do Rio Grande, visando a implantação de 10 novas estações de monitoramento hidrológico automáticas em torno da Lagoa dos Patos.
- Agência da Lagoa Mirim/UFPel: Identificação da possibilidade de incorporação, no SNIRH, dos dados das estações de monitoramento hidrológico da Agência da Lagoa Mirim/UFPel, situadas na Lagoa Mirim, no Canal São Gonçalo e no rio Jaguarão.

Foi mantida articulação com o Governo do Estado visando consolidar uma proposta de planejamento integrado da rede de monitoramento hidrológico do Rio Grande do Sul. Este processo considerou os pontos de interesse das diversas instituições estaduais envolvidas, considerando-se os objetivos de monitoramento identificados e aspectos operacionais envolvidos, assim como as estações telemétricas da futura rede de monitoramento e alerta a ser implantadas pela Defesa Civil/RS, priorizando a eliminação de sobreposições desnecessárias e a otimização de custos e esforços.

A proposta de aperfeiçoamento da rede de estações fluviométricas no Estado do RS, contemplando a divisão de responsabilidades sobre a implementação do monitoramento integrado, foi consolidada por meio da Nota Técnica nº 6/2025/CPLAR/SGH-SEI, cujos resultados foram encaminhados por meio de Ofício às principais instituições responsáveis pelo monitoramento no Estado, quais sejam, SEMA, Defesa Civil e SGB (Processo 02501.003038/2024-02).

O resumo da proposta de monitoramento fluviométrico integrado entre ANA, SEMA e Defesa Civil/RS é apresentado na Figura 16 e Tabela 3.

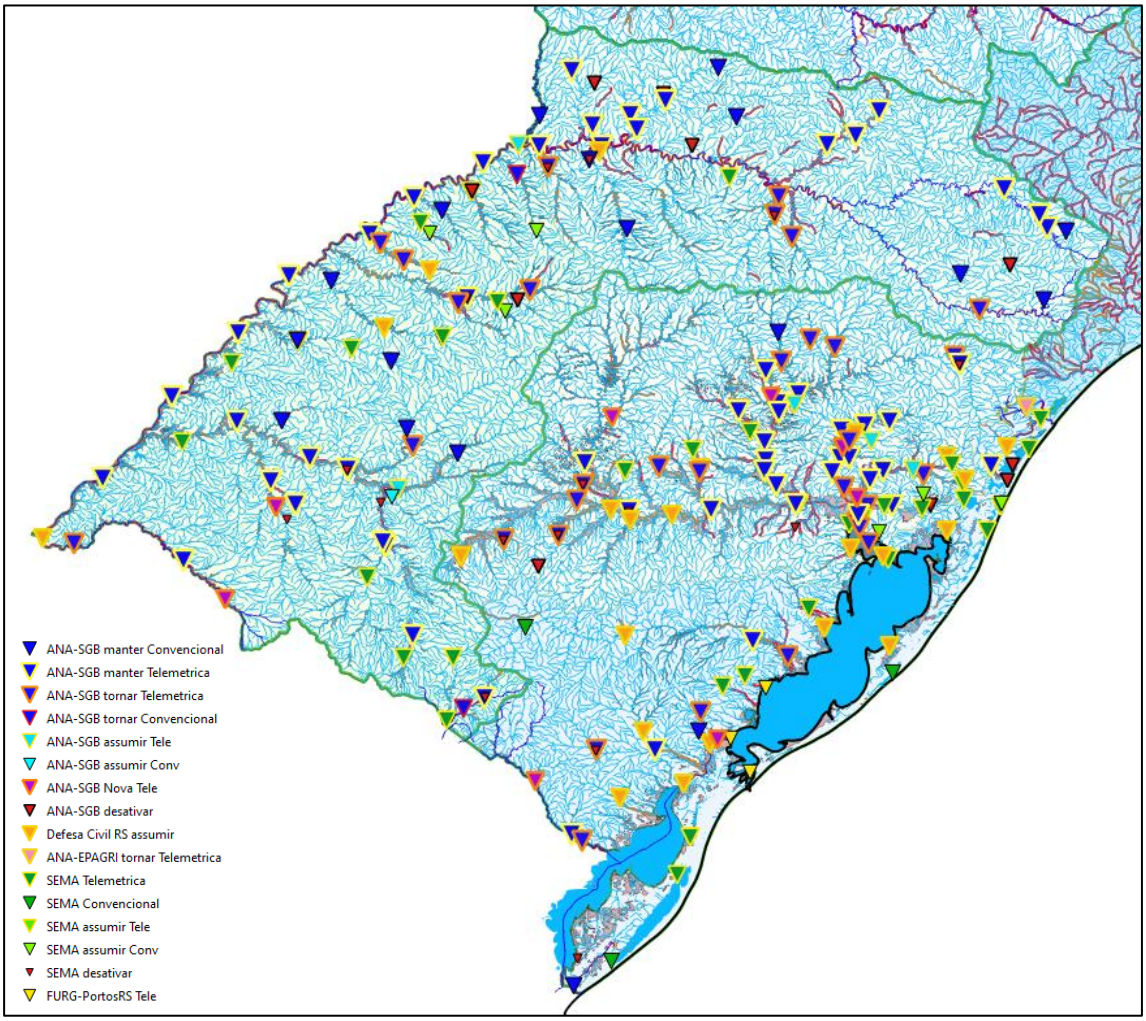


Figura 16 - Proposta de monitoramento fluviométrico integrado entre ANA, SEMA e Defesa Civil/RS (em análise)

Tabela 3: Resumo dos quantitativos de estações da rede fluviométrica revisada nas bacias do RS e porção catarinense da bacia do rio Uruguai

Rede fluviométrica analisada	
Estações FLU da ANA em operação atualmente	143
Estações FLU que continuarão sob responsabilidade da ANA no curto prazo	122
Estações cuja proposta é a ANA assumir a responsabilidade de monitoramento	6
Estações cuja proposta é transferir a gestão/operação para a SEMA-RS	7
Estações FLU da ANA que se propõe a desativação	12
Novas Estações que se propõe instalar sob responsabilidade da ANA no longo prazo	7
Estações da SEMA-RS cuja proposta é continuar sob responsabilidade da SEMA/RS	36
Estações fluviométricas já implantadas pela SEMA/RS ou pela ANA, cujos trechos de rios passarão a ser monitorados pela Defesa Civil/RS	25
Estações fluviométricas que passarão a ser monitoradas pela parceria FURG/Portos-RS	4

Dentre as recomendações para a implantação de uma rede integrada no Estado identificou-se que é necessário avançar na elaboração de proposta de aperfeiçoamento do monitoramento pluviométrico, incluindo a priorização de estações que deverão dispor de transmissão telemétrica de dados, no estabelecimento de protocolos que garantam a disponibilização e o compartilhamento mútuo dos dados produzidos pelas diferentes redes de monitoramento, bem como na continuidade ao processo de planejamento e revisão da RHN e da RHNR, visando incorporar o aprendizado acumulado desde o início de sua implementação.

ii. Registro e sistematização de marcas de cheia

As marcas de cheia observadas são necessárias à caracterização do evento ocorrido, para modelagens de eventos futuros e seu alcance potencial, para o planejamento de sistemas de alerta, para a reconstrução de estruturas em lugares mais seguros, entre outros.

O SGB realizou o levantamento das marcas de inundação em áreas próximas às estações de monitoramento hidrológico. Em Porto Alegre, foram realizados levantamentos topográficos para nivelamento de marcas de cheia em pontos estratégicos, inclusive o Cais Mauá C6 (estação da SEMA/RS, referência histórica para as cheias recentes), o Pórtico Central do Cais (Armazém P6, onde há uma marca materializada da cheia de 1941) e a estação Usina do Gasômetro, atualmente em operação pelo SGB. Os levantamentos realizados pelo Exército (1º Centro de Geoinformação), por articulação da ANA, e pelo SGB/CPRM foram concluídos.

A divulgação dos resultados ocorreu em setembro, conforme síntese abaixo (referência no RN SGE, a mais antiga documentada na área como pertencente à estação Harmonia, que iniciou a operação nos anos 1940):

Ponto	Levantamento SGB	Levantamento Exército
Armazém C6 (estação da SEMA, cuja operação foi interrompida em 02/05/2024)	5,37 m	5,35 m
Armazém P6 (Pórtico Central), onde há marca materializada da cheia de 1941	5,12 m	5,12 m
Gasômetro (estação SGB/ANA, cuja operação foi iniciada em 03/05/2024)	4,59 m	4,61 m

Obs.: As pequenas diferenças em alguns pontos são inerentes ao levantamento e escolha do local da marcação nas paredes.

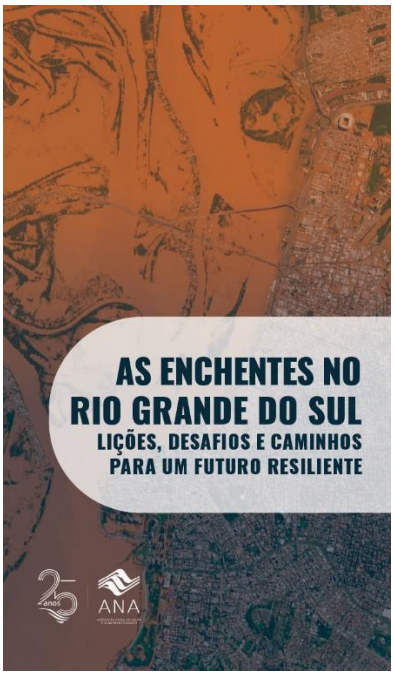
O relatório intitulado *Avaliação indireta do nível máximo das águas do delta do rio Jacuí na região central de Porto Alegre, entre as estações Cais Mauá C6 e Usina do Gasômetro, na grande cheia de maio de 2024,* encontra-se disponível no link https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24911

O levantamento das marcas de cheia nas bacias afluentes ao rio Guaíba foi realizado pelo SGB concomitantemente ao processo de reconstrução e implantação de melhorias estações. As marcas de cheia foram apresentadas à medida em que eram levantadas, por meio de atualizações da Nota Técnica intitulada *Aferição direta e avaliação indireta do nível máximo de rios em estações fluviométricas e marcas de inundação no Rio Grande do Sul na grande cheia de maio de 2024*, disponível em https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24939.5. A versão mais recente, de setembro de 2024, traz os registros dos níveis máximos em estações e cotas niveladas em pontos rastreados nas bacias dos rios Caí, Taquari, Ijuí, Ibicuí, Antas, Jacuí, Lagoa dos Patos e Guaíba, totalizando 104 locais.

Além disso, as marcas de inundação da cheia anterior, em setembro de 2023, foram levantadas pelo

SGB, sistematizadas e disponibilizadas ao GTA-RS como suporte aos estudos em andamento, especialmente para a modelagem de cheias e das manchas de inundação estimadas.

As Enchentes no Rio Grande do Sul: Lições, Desafios e Caminhos para um Futuro Resiliente



No final de abril de 2025, como parte do marco de um ano das enchentes, a ANA lançou a publicação *As Enchentes no Rio Grande do Sul: Lições, Desafios e Caminhos para um Futuro Resiliente*[4].

A publicação é o resultado de um esforço coletivo e multidisciplinar de participantes do GTA-RS, com o objetivo principal de fornecer um diagnóstico técnico científico robusto sobre as enchentes de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul, destacando seus impactos socioeconômicos e ambientais. Além de compreender a tragédia, o documento pretende construir a partir dela a oportunidade de formular políticas públicas e estratégias que priorizem a resiliência hídrica e a prevenção de futuros desastres. O material é dirigido a gestores em todas as esferas de governo, tanto no Rio Grande do Sul quanto em todo o território nacional, buscando fortalecer a governança local, embasar a captação de recursos e inspirar ações práticas para um futuro mais seguro e sustentável.

Os maiores destaques da publicação incluem:

- O evento de 2024 como o maior desastre hidrológico da história do RS: As enchentes de abril e maio de 2024 foram classificadas como um dos eventos hidrológicos extremos mais devastadores já registrados no Brasil, com chuvas de intensidade, duração e abrangência sem precedentes. Dos 497 municípios gaúchos, 478 foram afetados, impactando cerca de 2,4 milhões de pessoas. Foram registradas 183 mortes, 27 desaparecidos e 806 feridos, além de milhares de casas destruídas ou danificadas, com aproximadamente 146 mil desalojados e mais de 50 mil desabrigados.
- Impactos socioeconômicos alarmantes: Os prejuízos econômicos foram estimados em bilhões de reais. Levantamentos indicaram um impacto econômico de R$ 13,3 bilhões segundo a Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2024), e R$ 35,614 bilhões na produção e R$ 15,744

[4] https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=171447&tipoMidia=0

bilhões no PIB, com a eliminação de 152.017 postos de trabalho, conforme o Data Research & Insights (DRI) da Universidade de Passo Fundo. A infraestrutura viária foi severamente comprometida, com mais de 250 trechos de estrada e 140 pontes danificados. Barragens apresentaram elevado risco de rompimento, e serviços essenciais como abastecimento de água e funcionamento de hospitais e aeroportos foram interrompidos por semanas ou meses.

- Vulnerabilidade Geográfica e Climática do Rio Grande do Sul: O estado é naturalmente suscetível a cheias rápidas e intensas devido às suas grandes altitudes, elevadas declividades e baixa profundidade dos solos, especialmente nas cabeceiras das bacias dos rios Uruguai, Jacuí e Sinos, e na quase totalidade das bacias dos rios Taquari e Caí. O Rio Grande do Sul é o único estado no país onde rios podem ter elevações maiores que 5 metros em intervalos de tempo iguais ou menores que um dia.
- Chuva de 2024: Recorde Nacional: A chuva de 2024 foi a maior já observada no país em combinação de magnitude, duração, intensidade e abrangência espacial. Acumulados de chuva superaram 700 mm na parte norte do estado, com a estação de Muçum registrando 1062,0 mm entre 25 de abril e 15 de maio, o que representa 8 vezes a média histórica para o período. As vazões máximas de rios como Jacuí, Taquari e Guaíba atingiram valores comparáveis a recordes globais.
- Impacto das Mudanças Climáticas: 2024 foi o ano mais quente já registrado globalmente, e o fenômeno El Niño também contribuiu para a ocorrência das chuvas extremas. Estudos indicam que a mudança climática induzida pelo homem tornou as chuvas no Rio Grande do Sul duas vezes mais prováveis e aumentou sua intensidade em 6 a 9%. Projeções apontam o Sul do Brasil como a região com maior sinal de aumento de cheias, com vazões podendo aumentar em 20% e eventos extremos se tornando até 5 vezes mais frequentes.
- Necessidade de Reconstrução e Planejamento Resilientes: A tragédia evidenciou a necessidade urgente de atualizar as políticas públicas de mitigação e adaptação. Recomenda-se a adoção de diretrizes para atualização de parâmetros hidrológicos (como vazões e precipitações máximas) em projetos de infraestrutura, incluindo eventos recentes e aumento de 15% a 20% na magnitude. A majoração dos tempos de retorno e a flexibilidade e adaptabilidade das infraestruturas são cruciais.
- Monitoramento e Alerta como Primeira Linha de Defesa: A rede hidrometeorológica foi essencial, mas revelou lacunas. É fundamental ampliar a cobertura (especialmente em cabeceiras de bacias), implementar redundância nos sensores, e reduzir o intervalo de transmissão de dados. A reconstrução de estações destruídas foi prioritária, e melhorias como a elevação das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) e instalação de sensores redundantes estão sendo implementadas. Apesar dos esforços, a falta de recursos financeiros e humanos para manutenção e expansão da rede ainda é um desafio.
- Modelagem e Previsão de Cheias: A modelagem hidrológica e hidrodinâmica, combinada com modelos digitais de elevação do terreno, mostrou-se eficaz na previsão do desenrolar das inundações, especialmente no Guaíba e na Lagoa dos Patos. Estudos indicam que o investimento em sistemas de alerta pode gerar benefícios econômicos significativos, com ganhos de até R$ 661,00 para cada R$ 1,00 investido em prevenção de inundações urbanas.
- Soluções Baseadas na Natureza: O amortecimento da cheia pelas várzeas naturais do Rio Jacuí (como o Parque Estadual Delta do Jacuí) foi um fator decisivo para que os níveis em Porto Alegre não fossem ainda mais elevados, reforçando a importância da manutenção dessas áreas, seguindo o conceito de "room for the river". Matas ciliares, banhados e programas de conservação também demonstraram benefícios na mitigação.

- Fragilidades Estruturais e Falhas na Gestão do Risco: A tragédia expôs a urbanização inadequada em áreas de risco, a falta de percepção de risco pela população (muitos não sabiam estar em áreas inundáveis ou não compreendiam o funcionamento dos sistemas de proteção), e o "esquecimento" de cheias históricas como a de 1941. Os sistemas de proteção contra cheias falharam em vários pontos (vãos em comportas, refluxo, diques abaixo da cota de projeto), atingindo 35% a 40% da população afetada que acreditava estar protegida.
- Comunicação de Risco Deficiente: Os alertas iniciais não enfatizaram suficientemente a magnitude do evento, levando a uma evacuação lenta e descoordenada em muitas cidades. Além disso, a comunicação do risco mostrou-se deficiente tanto para autoridades quanto para a população, com informações divulgadas tardiamente ou imprecisas, e a interrupção de serviços básicos dificultou o acesso à informação. No entanto, a lenta propagação das águas na Lagoa dos Patos, combinada com um sistema eficiente de previsões e comunicação, permitiu ações antecipadas.
- Caminhos para um Futuro Resiliente: A publicação conclui que a reconstrução do RS deve ser uma oportunidade para fortalecer a resiliência, incorporando critérios climáticos no planejamento, ampliando sistemas de previsão e alerta, e promovendo infraestruturas verdes. Destacam-se a necessidade de planos de contingência atualizados e testados, manutenção preventiva dos sistemas de proteção, marco legal para responsabilidades claras, financiamento contínuo, e a criação de uma cultura de prevenção através da educação. A colaboração institucional e o conhecimento local desenvolvido em universidades são cruciais para respostas eficazes e uma reconstrução resiliente. O legado da tragédia deve ser o de "reconstruir melhor", evitando perdas de vidas e minimizando prejuízos econômicos com um conjunto de medidas integradas.

Brasília, 25 de julho de 2024.