

# Análise da viabilidade econômica da previsão de cheias no Rio Grande do Sul

Analysis of the economic viability of flood predictions in Rio Grande do Sul

Lara Cruz Nonnemacher<sup>1</sup> , Fernando Mainardi Fan<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mails: lara\_nonne@hotmail.com, fernando.fan@ufrgs.br

**Como citar:** Nonnemacher, L. C., & Fan, F. M. (2023). Análise da viabilidade econômica da previsão de cheias no Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 20, e8. <https://doi.org/10.21168/rega.v20e8>

**RESUMO:** Devido ao desenvolvimento da sociedade se dar a partir das margens de rios, desastres naturais causados por inundações ocorrem frequentemente ao redor do mundo, gerando elevados prejuízos econômicos e sociais. Para a redução de prejuízos, sistemas de alerta realizam o monitoramento e previsão de inundações. O presente estudo propõe-se a analisar a viabilidade econômica da instalação de um sistema de alerta no Rio Grande do Sul, considerando dois cenários distintos: o Cenário I considera o uso de dados já disponíveis e o Cenário II considera a instalação de uma nova rede de estações hidrometeorológicas. Ambos consideram o desenvolvimento e operação do sistema de alerta. Os resultados foram obtidos conforme as medidas de proteção, tomadas após o alerta, relacionadas ao percentual de prejuízos evitados, sendo 36,68% o maior valor possível, conforme as referências adotadas, e conforme a taxa de acertos das previsões realizadas pelo modelo. Considerou-se uma taxa inicial de acertos das previsões de 55%, também a partir de referencial de sistemas de previsão existentes. Calculando-se para um período de vinte anos a partir do início do sistema, com a taxa de acertos para este período evoluindo 0, 10, 20 e 30% a partir dos 55%, os piores resultados para os Cenários I e II foram de, respectivamente, 27 e 18 reais economizados para cada real investido, e os melhores foram de 41 e 28 reais economizados.

**Palavras-chave:** Desastres Naturais; Inundações; Sistema de Alerta.

**ABSTRACT:** Caused by the development of the society around rivers, natural hazards caused by floods occur frequently around the world, causing elevated economics e social losses. For loss reduction, warning systems perform flood monitoring and forecasting. The present study's goal is analyzing the economic viability of the installation of a warning system for Rio Grande do Sul, considering two distinct scenarios: Scenario I consider using already available data and Scenario II consider the installation of a new network of hydrometeorological stations. Both of them consider the development and operation of the warning system. Results were obtained according to the protection measures taken after the warning, related to the percentual of avoided losses, being 36.68% the biggest possible value, according to the adopted references, and according to hits rate of predictions made by the model. It was considered an initial hit rate of 55%, also taken from references of existing prediction systems. Calculating for a twenty years period counting from the beginning of the system, with improvement of hit rate for this period of 0, 10, 20 and 30%, the worst results for Scenarios I and II were, respectively, 27 and 18 reais saved for each real invested, and the best were 41 and 28 saved.

**Keywords:** Natural Hazards; Floods; Alert System.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de água para abastecimento, irrigação, transporte e fins e industriais fez com que, ao longo da história, sociedades se desenvolvessem ao longo de rios (Grimm et al., 2008). Portanto, o comportamento de rios e demais corpos d'água que circundam concentrações urbanas possui relação direta com o bem-estar socioeconômico desses locais, tendo grande potencial para impactos positivos ou negativos na sociedade. Ao longo do século XX, inundações levaram a cerca de sete milhões de mortes (Doocy et al., 2013) e perda global anual média de aproximadamente US\$ 104 bilhões (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015). Ao mesmo tempo em que se possui esse conhecimento, presencia-se inúmeros eventos de destruição devido a fenômenos naturais relacionados à água, como inundações. Frequentemente, noticiários exibem

Recebido: Dezembro 19, 2022. Revisado: Fevereiro 27, 2023. Aceito: Abril 12, 2023.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a [licença Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

novos relatos de comunidades afetadas por inundações em diferentes graus, mais ou menos severas. Os prejuízos podem ser econômicos, como destruição de casas e bens, ou sociais, indo de propagação de doenças e ferimentos até mortes (Merz et al., 2021).

Uma das maneiras de reduzir impactos gerados por cheias é a previsão de suas ocorrências através de modelos. Em 2015, Pappenberger et al. analisaram a viabilidade econômica de investir em previsões de cheias na Europa utilizando o sistema já existente EFAS (European Flood Awareness System). O EFAS tem o papel de fornecer as probabilidades de inundações para as autoridades europeias responsáveis com cerca de dez dias de antecedência ao possível evento, o que é realizado diariamente através de simulações executadas duas vezes por dia para cerca de 138 pontos de análise.

A partir de considerações sobre a taxa de acertos do sistema de previsão, das medidas tomadas após a emissão do alerta e da base de dados utilizada (EFAS ou EM-DAT), foram gerados 19 cenários para análise. Ao fim do estudo, obtiveram uma faixa de variação de custos-benefícios que vão de um euro investido para uma economia de 4 euros, no cenário que considera a manutenção do curso d'água como a única medida protetora tomada após o alerta, a 409 euros, considerando a melhoria do sistema de previsão e o máximo de medidas protetoras possíveis.

Motivada por estudos como este, surge a questão da viabilidade de sistemas de previsão no Rio Grande do Sul (RS), a partir de custos e benefícios da sua aplicação. No Brasil, há também diversos sistemas diferentes de previsão de cheias utilizados em cada estado. Silva e Buffon (2020) realizaram a avaliação econômica do Sistema de Alertas Hidrológicos (SAH) da bacia do rio Caí entre 2009 e 2020. Nesse estudo, foi feita a avaliação da efetividade pública e do impacto econômico causado pela operação do SAH após onze anos da sua implementação. Os resultados obtidos indicaram que o SAH da bacia do rio Caí proporcionou uma relação positiva quanto à sua capacidade de prevenção a danos e redução de prejuízos, apresentando melhor desempenho que outras medidas de prevenção analisadas.

No entanto, ainda não há nenhum estudo abrangente sobre a viabilidade econômica como feito para a Europa por Pappenberger et al. (2015) para o Brasil. O Rio Grande do Sul é cenário de diversos e recorrentes eventos de inundação, fazendo-se importante o estudo de diversos métodos que visem a diminuição dos impactos.

O maior evento registrado no Rio Grande do Sul pode ser considerado o ocorrido no ano de 1941, com a maior inundação da história da capital Porto Alegre, com nível de pico atingindo 4,75 m. Este nível segue uma escala onde o nível ou cota 3,00 m é a cota do Cais do Porto, cujo valor consta de plantas do projeto do porto, mas provavelmente sem amarração a um datum vertical conhecido (Silveira, 2020), e que deu início a um processo de atualização do sistema de proteção contra inundações da cidade. Essa cheia foi uma das motivações para a alteração de toda a estrutura de proteção contra inundações da cidade. O evento mais recente ao presente trabalho registrado no estado do Rio Grande do Sul se passou em 2020, no início de julho, quando a cheia do rio Taquari afetou dezenas de municípios, desabrigando centenas de famílias e desalojando tantas outras. Nesse evento, estimativas de entidades locais apontaram que as perdas econômicas foram de pelo menos R\$ 100 milhões, sendo o município de Encantado o mais afetado, com perdas de pelo menos R\$ 50 milhões (A Hora, 2020).

Pode-se argumentar que o problema, no entanto, não é a cheia natural dos rios isoladamente, mas sim as ocupações urbanas e rurais que poderão ser atingidas por ela. Quando determinado fenômeno natural atinge alguma pessoa, seja física ou economicamente, caracteriza-se como um desastre natural, os quais podem e devem ser minimizados. Em 2021, Merz et al. analisaram o aumento de vazões máximas anuais e de pessoas afetadas para o período entre 1977 e 2019, em escala global. A comparação apontou que, na maioria dos casos, os países com maiores aumentos de pessoas afetadas não correspondiam aos com maiores aumentos de vazão máxima, indicando que o crescimento populacional em planícies de inundação vem sendo o fator preponderante no impacto de inundações na maior parte do mundo, inclusive no Brasil (Merz et al., 2021).

Nessa linha, o presente artigo traz pela primeira vez uma avaliação de viabilidade econômica da implementação de um sistema de previsão hidrológica para um estado brasileiro. Foi realizada uma análise da viabilidade econômica da previsão de cheias no estado do Rio Grande do Sul com o objetivo de estabelecer relações de custo-benefício do investimento em previsões hidrológicas.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado considerando a previsão de cheias no estado do Rio Grande do Sul. Localizado no extremo sul do Brasil, conforme ilustra a Figura 1 o estado possui clima predominantemente

subtropical (Cfa), segundo a classificação de Köppen-Geiger. Em 2020, Rossato propôs a classificação climática com quatro subdivisões, sendo elas: Subtropical I - pouco úmido, Subtropical II - medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias, Subtropical III - úmido com variação longitudinal das temperaturas médias e Subtropical IV - muito úmido. Logo, possui as estações quente e fria bem definidas e chuvas bem distribuídas ao longo do ano, porém totalizando maior volume nos meses de inverno. A área estadual é de cerca de 281.707 km<sup>2</sup> (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020), sendo esta composta por quatro principais regiões geomorfológicas: Planalto Meridional, Planície Costeira, Depressão Central e Escudo Sul-Rio-Grandense.

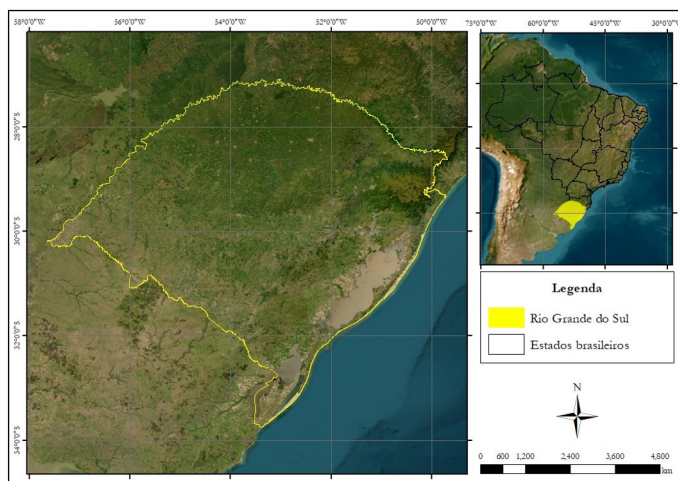


Figura 1. Localização do estado do Rio Grande do Sul.

O RS foi escolhido como área de estudo por ser uma região com um extenso histórico de inundações, o que foi demonstrado em diversos levantamentos, como o feito por Wollmann (2014). Nesse estudo, o autor levantou inundações ocorridas entre os anos 2000 e 2011, contabilizando um total de 55 eventos. Mais recentemente, em julho de 2020, a cheia do rio Taquari gerou perdas econômicas estimadas de pelo menos R\$ 100 milhões, sendo o município de Encantado o mais afetado, com perdas de pelo menos R\$ 50 milhões (A Hora, 2020).

Segundo o Mapa de Vulnerabilidade a Inundações da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2014), o RS possui 1.392 trechos inundáveis, atingindo 295 municípios. Destes trechos inundáveis, 473 foram caracterizados como alta vulnerabilidade, evidenciando a necessidade de medidas preventivas contra inundações.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do estudo dividiu-se em duas partes. A primeira parte refere-se ao levantamento de custos gerados pelos impactos das inundações, incluindo perdas econômicas e sociais. Já a segunda parte dedica-se ao levantamento de custos com a previsão de eventos a partir da análise de dois cenários. O primeiro considera o uso apenas dos dados de precipitação livres disponíveis para a realização das previsões e o segundo considera a compra e instalação de estações telemétricas para todo o território estadual e a posterior previsão de cheias a partir dos dados de precipitação obtidos. A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia aplicada.

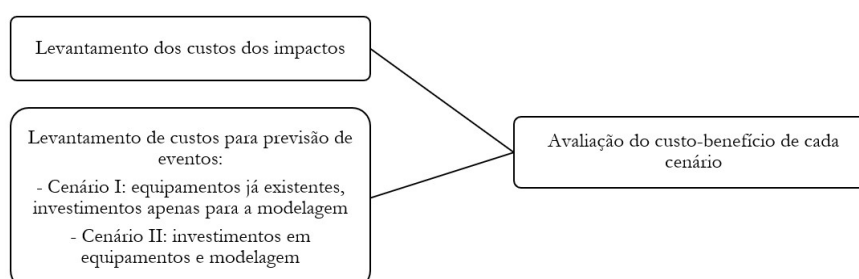


Figura 2. Fluxograma da metodologia aplicada no estudo.

### 3.1 Levantamento do custo dos impactos

Os impactos econômicos foram apurados a partir dos registros de inundações do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINDEC), o qual possui extenso banco de dados para o Brasil todo. O sistema possui registros a partir do ano 2000, porém passaram a ser descritos com informações mais específicas, como custos das perdas e classificação da forma como as pessoas foram afetadas (desalojadas, feridas etc.), a partir de 2002.

Desde então, as informações contidas nos registros referem-se a perdas sociais e econômicas. As perdas sociais consideradas são relacionadas: ao abastecimento d'água, à energia elétrica, ao transporte, à comunicação, ao esgoto, ao gás, ao lixo, à saúde, à educação e a alimentos básicos. Nos prejuízos econômicos são contabilizados danos em edificações, agricultura, pecuária, indústria e danos ambientais. Para o presente estudo, foram selecionados os registros referentes ao RS de 2002 a 2022, de forma a ser calculado o custo financeiro total gerado por inundações.

### 3.2 Levantamento de custos para a previsão de eventos

Os custos para o financiamento dos serviços de monitoramento e alerta propostos foram calculados para dois cenários: o primeiro considera a utilização dos dados de redes de estações telemétricas já existentes e o segundo considera a instalação de uma rede nova de estações, a qual inclui a medição do nível da água e de precipitação, com densidade conforme proposto pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM). A diferenciação se dá por causa do contexto nacional de escassez de dados. Dessa forma, a nova rede hidrometeorológica supriria a demanda por dados.

A partir da respectiva rede utilizada, todos os cenários consideram o desenvolvimento e operação de um novo sistema de previsão de inundações.

- Cenário I: investimentos apenas em modelagem;
- Cenário II: investimentos em equipamentos e modelagem, sendo o número de estações definido pela densidade recomendada pela OMM.

O Cenário I é o mais semelhante à realidade atual do Brasil, pois é comum que a rede hidrometeorológica a ser utilizada no sistema de previsão já exista. Isto de fato acontece no Rio Grande do Sul, que já conta com uma rede hidrometeorológica automática que pode ser aproveitada para a previsão de vazões, embora a qualidade da rede não necessariamente seja a mesma usada como pressuposto no Cenário II.

### 3.3 Custos do desenvolvimento e operação do sistema de previsão

Em relação ao sistema de previsão, os custos dividem-se em duas partes: desenvolvimento e operação do sistema. Os valores das duas etapas são calculados considerando o envolvimento de um Engenheiro Júnior e um Sênior, utilizando como base os honorários profissionais da Associação Catarinense dos Engenheiros Ambientais (ACEAMB).

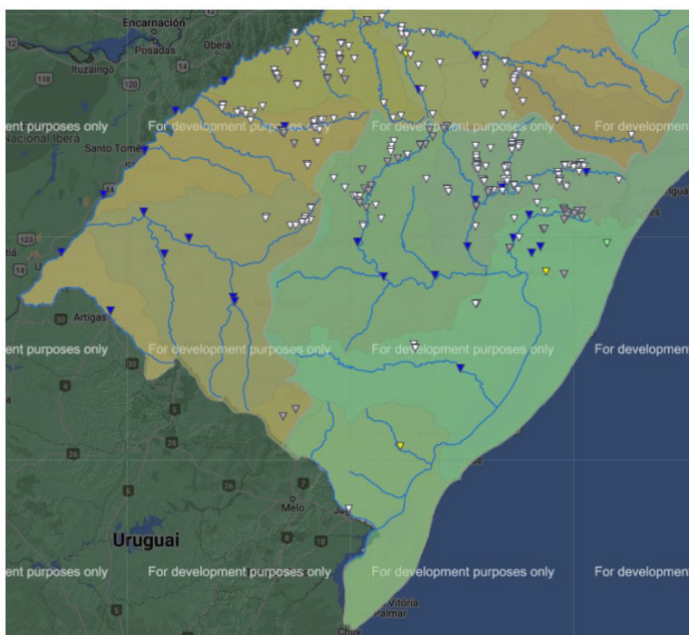
- a. Plano de atividades: momento em que são definidas todas as atividades necessárias para o projeto e suas respectivas datas de início e conclusão;
- b. Coleta, análise e consistência de dados: os dados disponíveis são reunidos (tanto os existentes quanto os da nova rede) e são analisados aspectos como disponibilidade ao longo dos anos, suas respectivas estatísticas, etc. Em caso de falhas nos dados, são utilizados métodos de consistir os dados;
- c. Discretização das bacias para o modelo hidrológico: o modelo hidrológico necessita de informações sobre a bacia hidrográfica à qual se refere, como declividade e extensão, além da delimitação da área da bacia. Nesta etapa realiza-se essa análise para todas as bacias envolvidas;
- d. Calibração e validação do modelo hidrológico: a partir das informações relativas à bacia, são realizadas simulações com precipitações de eventos cujas vazões são conhecidas, de forma que os resultados são comparados aos dados medidos. Dessa forma, diversas simulações são realizadas com alteração dos parâmetros de entrada até que os resultados estejam satisfatoriamente coerentes com as medições.
- e. Acoplamento do modelo a uma interface de previsão: uma vez que o modelo esteja calibrado e validado, é adicionada a interface de previsão, permitindo que os dados de precipitação inseridos como entrada executem a simulação de previsão;
- f. Ajuste de rotinas de assimilação, pré e pós-processamento: período de ajuste das rotinas computacionais realizados pelo modelo;

- g. Instalação e operacionalização do modelo: momento em que se dará o início da organização para a operação do modelo, quando os desenvolvedores poderão instalar o sistema e realizar os ajustes necessários para o uso nos computadores da sala dos usuários;
- h. Testes de operação do sistema: período considerado para serem utilizados dados atuais e previsões reais, de forma a ser observada a coerência com a realidade;
- i. Acompanhamento da operação do sistema de previsão: período em que o sistema já estará em operação, no entanto os responsáveis pelo seu desenvolvimento continuarão acompanhando a sua utilização a fim de garantirem o bom funcionamento.

Quanto à operação do sistema, o cálculo dos custos considera as seguintes etapas:

- a. Rodadas diárias e emissão de boletim diário: o modelo de previsão será executado diariamente com as precipitações atuais. Os resultados serão analisados e será gerado posteriormente um boletim informativo das previsões também diariamente. Processo de aproximadamente 4 horas diárias;
- b. Ajustes do modelo e consistência dos dados: o modelo deverá ser avaliado e ajustado sempre que necessário, assim como os dados deverão ser continuamente ajustados. Processo de aproximadamente 10 horas semanais;
- c. Reuniões: envolvem encontros com a defesa civil, órgão ambiental, e outros que possam ser necessárias.
- d. Análise periódica dos resultados: os resultados serão analisados frequentemente de forma mais ampla do que as análises diárias, a fim de avaliar a acurácia das previsões, locais com maiores e menores índices de acerto, pontos a serem melhorados, entre outros.
- e. Boletins mensais de consolidação: serão apresentados mensalmente boletins com análise de desempenho e dos dados.

A Figura 3 apresenta a rede hidrometeorológica automática disponível na página do Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos (SNIRH) da ANA, que transmite os dados automaticamente e poderia ser aproveitada no sistema de previsão. A densidade das estações neste sistema é de uma estação a cada 1.875 km<sup>2</sup>, sendo esta uma boa densidade, porém mal distribuída. Percebe-se na Figura 3 que a distribuição das estações é desigual, fazendo com que haja um maior monitoramento na região norte do estado e um monitoramento menor no restante do estado.



**Figura 3.** Rede hidrometeorológica automática com dados de vazão (Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2022).

Os custos com equipamentos para o Cenário II foram levantados calculando-se a quantidade necessária de estações telemétricas para a medição da precipitação no Rio Grande do Sul a partir da densidade de

estações sugerida pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), conforme apresentado na Tabela 1. A divisão do território considerou áreas costeiras, montanhosas, planas e urbanas, essa última sendo calculada a partir do Censo de 2010 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010). Destaca-se que se partiu do pressuposto que o número de estações sugeridas pela OMM é a quantidade mínima adequada para boas previsões de cheias. Isto pode não ser necessariamente sempre realidade, mas foi um pressuposto necessário para a definição de uma quantidade mínima de estações.

**Tabela 1.** Densidade de estações para cada necessidade e contexto fisiológico segundo a OMM, área em km<sup>2</sup> por estação.

Unidade fisiográfica	Precipitação		Evaporação	Vazão	Sedimentos	Qualidade da água
	Manual	Automático				
Costeira	900	9.000	50.000	2.750	18.300	55.000
Montanhosa	250	2.500	50.000	1.000	6.700	20.000
Planícies interiores	575	5.750	5.000	1.875	12.500	37.500
Ondulada	575	5.750	50.000	1.875	12.500	47.500
Pequenas ilhas	25	250	50.000	300	2.000	6.000
Áreas urbanas	-	10 - 20	-	-	-	-
Polar/Árido	10.000	100.000	100.000	20.000	200.000	200.000

Fonte: Adaptado de OMM, 2008.

Para a operação de um sistema de previsão de vazões também são necessárias medições de nível da água em seções do rio a ser monitorado, a fim de ser calculada a vazão a partir da curva-chave em tempo real, e transmissão para operação do modelo. Usualmente no Brasil muitas estações telemétricas de chuva possuem instaladas junto a elas a estação fluviométrica para aproveitar o painel de coleta de dados (PCD), a antena de transmissão e os demais aparatos em geral. Isto pode ser constatado nos próprios dados disponibilizados pela ANA em seu portal de telemetria. De forma análoga, para o presente estudo, calculou-se a quantidade de estações pluviométricas necessárias, considerando-se o mesmo número para linígrafos para medição do nível d'água. Considerou-se apenas um equipamento de medição de vazão para o Cenário II, o qual se considera que será utilizado para as medições em todos os pontos, visto que cada medição será realizada em diferentes momentos.

Também se faz necessário considerar o valor da instalação e manutenção da rede, sendo esta última, realizada periodicamente, visto que os equipamentos estão sujeitos a diversas intempéries, como sujeiras, vandalismo, falhas técnicas, entre outros. Aqui serão consideradas manutenções quatro vezes por ano, realizadas por hidrotécnicos.

No Cenário II, além da instalação e operação da rede telemétrica incluíram-se todos os custos do Cenário I, de desenvolvimento e de operação de um sistema de previsão para todo o território em estudo. Esse sistema operacional seria desenvolvido por uma equipe de Engenharia e/ou Meteorologia na forma de um projeto com duração de um ano, e seria operado diariamente com um custo mensal também calculado.

Os custos relativos aos equipamentos necessários para o sistema foram obtidos através de orçamentos solicitados a empresas do setor de hidrometria. Os custos relativos à manutenção e à operação do sistema também foram obtidos a partir de orçamentos de empresas especializadas do setor, sendo considerada também a necessidade da mão de obra especializada de técnicos. Já os tempos de desenvolvimento foram determinados pelos autores, como parte da proposta metodológica do estudo.

Este cenário, portanto, pode ser considerado como muito conservador no que diz respeito aos custos de um sistema de alerta, pois ele considera que todo o benefício da existência de uma rede telemétrica estaria atrelado unicamente a este sistema de previsão. Na realidade, existem outros benefícios atrelados à rede, como o uso para controle de irrigação, outorga da água e operação de obras hidráulicas, os quais não foram contabilizados neste cenário.

#### 4. RESULTADOS

Os resultados foram divididos entre os custos dos impactos e Cenários I e II. Os custos-benefícios serão calculados a partir da relação entre os custos com a remediação de impactos e custos com a previsão.

Os resultados gerados pela pesquisa podem ser resumidos em:

- Custos dos impactos: foi calculado em cerca de R\$ 172,3 milhões por ano no RS;
- Custos de desenvolvimento e operação do sistema no Cenário I para o primeiro ano: R\$ 2,1 milhões;
- Custos de operação do sistema no Cenário I para os demais anos: R\$ 1,7 milhão;

- d. Valor economizado a cada real investido no Cenário I: varia de R\$ 26,52 a R\$ 40,99;
- e. Custos de compra e instalação da nova rede, idas a campo, manutenção da rede, desenvolvimento e operação do sistema para o Cenário II no primeiro ano: R\$ 5,0 milhões;
- f. Custos de operação do sistema, compra e instalação de equipamentos que precisem ser substituídos e idas a campo para o Cenário II nos demais anos: R\$ 2,5 milhões.
- g. Valor economizado a cada real investido no Cenário II: varia de R\$ 18,13 a R\$ 28,02.

A seguir estes resultados são detalhados:

#### 4.1 Custos dos impactos

A partir dos dados disponíveis no SINDEC, criou-se um banco de dados referentes aos prejuízos econômicos e sociais, gerando as informações apresentadas na Tabela 2. A nomenclatura de desastres naturais passou por mudanças em 2012, a partir da substituição da Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (CODAR) pelo Código Brasileiro de Desastres (COBRADE), através da Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012 (Brasil, 2012). Com isso, foram alterados os termos “inundação ribeirinha” para “inundação”, “inundação brusca” para “enchente” ou “enxurrada” e “inundação urbana” para “alagamento”. Dessa forma, os registros anteriores a 2012 em que o evento é descrito apenas como inundação requisitaram uma análise das características do evento e do local para entrarem nos cálculos do estudo.

Os dados coletados são apenas das ocorrências no RS. Destaca-se 2015 como o ano com maior prejuízo financeiro, informação coerente com as cheias ocorridas no período, sendo o ano com as maiores cheias no Lago Guaíba e Delta do Jacuí no período analisado (Reckziegel, 2018). O restante do estado também sofreu o impacto das altas precipitações, culminando em um custo total de cerca de R\$ 1,24 bilhão.

Embora as perdas humanas não entrem para o cálculo do custo-benefício da implantação de um novo sistema de alerta contra inundações, os números contabilizados enfatizam os impactos sofridos com tais eventos. Para o período abordado, cerca de 1,4 milhão de pessoas foram afetadas de alguma forma por inundações apenas no Rio Grande do Sul.

O custo total devido a inundações chegou a cerca de R\$ 3,5 bilhões no período entre 2002 e 2022, resultando em uma média anual de cerca de R\$ 172,3 milhões.

**Tabela 2.** Custos totais com remediação de impactos gerados por inundações.

Ano	Prejuízos sociais	Prejuízos materiais	Prejuízo total
2002	R\$ 6.457.023,36	R\$ 83.432.696,00	R\$ 89.889.719,36
2003	R\$ 1.559.680,00	R\$ 2.429.780,00	R\$ 3.989.460,00
2007	R\$ 828.670,00	R\$ 81.557.049,00	R\$ 82.385.719,00
2008	R\$ 624.140,00	R\$ 33.082.638,00	R\$ 33.706.778,00
2009	R\$ 13.455.210,00	R\$ 618.931.924,02	R\$ 632.387.134,02
2010	R\$ 196.000,00	R\$ 51.537.280,00	R\$ 51.733.280,00
2011	R\$ 3.884.250,00	R\$ 105.965.397,00	R\$ 109.849.647,00
2012	R\$ -	R\$ 11.034.234,63	R\$ 11.034.234,63
2013	R\$ -	R\$ 132.146.138,25	R\$ 132.146.138,25
2014	R\$ -	R\$ 73.940.146,62	R\$ 73.940.146,62
2015	R\$ 174.666.598,56	R\$ 1.066.348.389,15	R\$ 1.241.014.987,71
2016	R\$ 36.448.083,95	R\$ 83.736.921,22	R\$ 120.185.005,17
2017	R\$ 73.457.098,06	R\$ 463.744.545,79	R\$ 537.201.643,85
2019	R\$ 1.257.451,46	R\$ 64.842.449,86	R\$ 66.099.901,32
2020	R\$ 5.532.986,76	R\$ 212.317.736,60	R\$ 217.850.723,36
2021	R\$ 8.000.000,00	R\$ 26.915.505,43	R\$ 34.915.505,43
2022	R\$ 3.170.000,00	R\$ 3.710.000,00	R\$ 6.880.000,00

**Fonte:** Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (2002, 2003, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021, 2022).

#### 4.2 Cenário I

Para o cálculo dos custos do sistema de previsão, as duas etapas, desenvolvimento e operação, foram calculadas considerando o envolvimento de um Engenheiro Júnior e um Sênior, utilizando como base os honorários profissionais da Associação Catarinense dos Engenheiros Ambientais (Associação Catarinense dos Engenheiros Ambientais, 2015). A Tabela 3 apresenta os custos calculados para cada etapa.

**Tabela 3.** Custo para desenvolvimento do sistema – projeto de consultoria com duração de um ano.

Item	Descrição das Atividades	Profissional Júnior			Profissional Sênior			Totais
		Horas Anuais	Valor/hora	Total	Horas Anuais	Valor/hora	Total	
1	Plano de atividades	40	R\$ 150,00	R\$ 6.000,00	20	R\$ 300,00	R\$ 6.000,00	R\$ 12.000,00
2	Coleta, análise e consistência de dados	80	R\$ 150,00	R\$ 12.000,00	40	R\$ 300,00	R\$ 12.000,00	R\$ 24.000,00
3	Discretização das bacias para o modelo hidrológico	120	R\$ 150,00	R\$ 18.000,00	40	R\$ 300,00	R\$ 12.000,00	R\$ 30.000,00
4	Calibração e validação do modelo hidrológico	240	R\$ 150,00	R\$ 36.000,00	60	R\$ 300,00	R\$ 18.000,00	R\$ 54.000,00
5	Acoplamento do modelo a uma interface de previsão	120	R\$ 150,00	R\$ 18.000,00	40	R\$ 300,00	R\$ 12.000,00	R\$ 30.000,00
6	Ajuste de rotinas de assimilação, pré e pós-processamento	120	R\$ 150,00	R\$ 18.000,00	60	R\$ 300,00	R\$ 18.000,00	R\$ 36.000,00
7	Instalação e operacionalização do modelo	200	R\$ 150,00	R\$ 30.000,00	40	R\$ 300,00	R\$ 12.000,00	R\$ 42.000,00
8	Testes de operação do sistema	160	R\$ 150,00	R\$ 24.000,00	20	R\$ 300,00	R\$ 6.000,00	R\$ 30.000,00
9	Acompanhamento da operação do sistema de previsão	240	R\$ 150,00	R\$ 36.000,00	40	R\$ 300,00	R\$ 12.000,00	R\$ 48.000,00
					Custo total sem impostos			R\$ 306.000,00
					<b>Custo final com 25% de impostos e margens</b>			<b>R\$ 382.500,00</b>

Quanto à operação do sistema, os custos calculados são apresentados na Tabela 4:

**Tabela 4.** Custo para operação do sistema de previsão - projeto contínuo mensal

Item	Descrição das Atividades	Profissional Júnior			Profissional Sênior			Totais
		Horas Mensais	Valor/hora	Total	Horas Mensais	Valor/hora	Total	
1	Rodadas diárias e emissão de boletim diário	100	R\$ 150,00	R\$ 15.000,00	25	R\$ 300,00	R\$ 7.500,00	R\$22.500,00
2	Ajustes do modelo e consistência dos dados	40	R\$ 150,00	R\$ 6.000,00	10	R\$ 300,00	R\$ 3.000,00	R\$ 9.000,00
3	Reuniões	48	R\$ 150,00	R\$ 7.200,00	60	R\$ 300,00	R\$ 18.000,00	R\$25.200,00
4	Análise periódica dos resultados	80	R\$ 150,00	R\$12.000,00	40	R\$ 300,00	R\$ 12.000,00	R\$24.000,00
5	Boletins mensais de consolidação	40	R\$ 150,00	R\$ 6.000,00	40	R\$ 300,00	R\$ 12.000,00	R\$18.000,00
					Custo mensal pessoal técnico sem impostos			R\$98.700,00
					Custo manutenção escritório para previsão			R\$ 16.000,00
					Custo total sem impostos			R\$ 114.700,00
					<b>Custo final com 25% de impostos</b>			<b>R\$ 143.375,00</b>

Para o custo com o desenvolvimento do modelo, o valor anual calculado, incluindo uma taxa de 25% de impostos, foi de R\$ 382.500,00. Já o custo para a operação do sistema mensalmente é de R\$ 143.375,00, também considerando 25% de impostos, ou seja, R\$ 1.720.500,00 anualmente.

#### 4.3 Cenário II:

O cálculo da quantidade necessária de estações pluviométricas para o Cenário II foi realizado primeiramente obtendo-se a área urbana total do estado, visto que são as regiões que deverão ter a maior densidade de estações, conforme mostrado na Tabela 5. Para isso, utilizou-se o *shapefile* disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010), onde são apresentadas as áreas urbanas do Brasil todo (Figura 4). A soma das áreas urbanas do Rio Grande do Sul obtida foi de 1.415 km<sup>2</sup>, o que equivale a cerca de 1% do território do estado. As áreas urbanas terão uma estação a cada 20 km<sup>2</sup>, quantidade na faixa determinada pela OMM. Dessa forma, estas áreas terão monitoramento mais preciso.



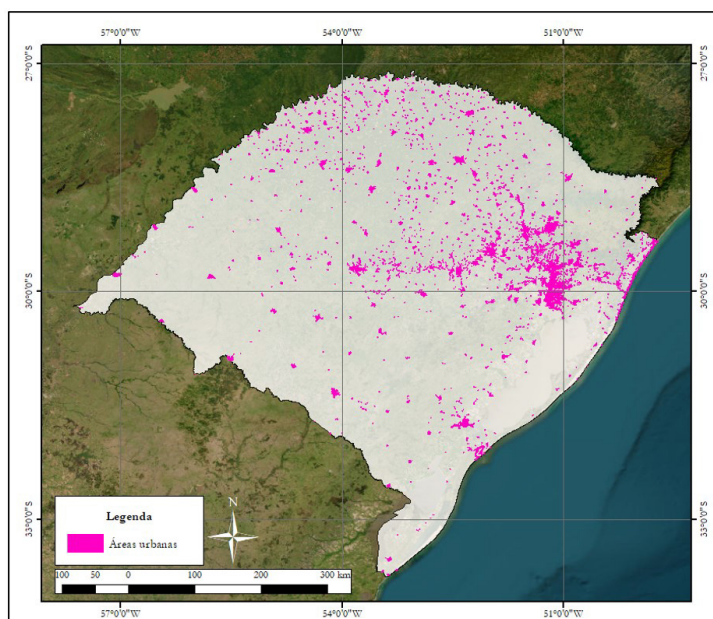


Figura 4. Áreas urbanas do Rio Grande do Sul.

Em seguida, foram definidas as unidades fisiográficas de acordo com a classificação da OMM para densidades de estações (Tabela 1). A região da Planície Costeira possui área de cerca de 33.000 km<sup>2</sup> (Tomazelli & Villwock, 2000), portanto, essa área terá uma estação a cada 9.000 km<sup>2</sup>.

Para o restante do território foi necessário determinar-se a declividade do terreno, visto que poderia encaixar-se como plano, ondulado ou montanhoso. A classificação seguiu a norma determinada por Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979), onde terrenos com declividades de até 3% são classificados como planos, entre 3 e 8% são suavemente ondulados, entre 8 e 20% são ondulados, entre 20 e 45% são fortemente ondulados, entre 45 e 75% são montanhosos e acima disso são escarpados. As declividades foram obtidas através dos *rasters* fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2010), onde são disponibilizados esses dados para todo o Brasil com resolução de 90 m. A Figura 5 apresenta o mapa de declividades do Rio Grande do Sul, onde se percebe que a máxima inclinação encontrada é de 4%. Logo, todo o restante do terreno é classificado como plano ou ondulado, classes que devem possuir a mesma densidade de estações, de uma estação a cada 5.750 km<sup>2</sup>.

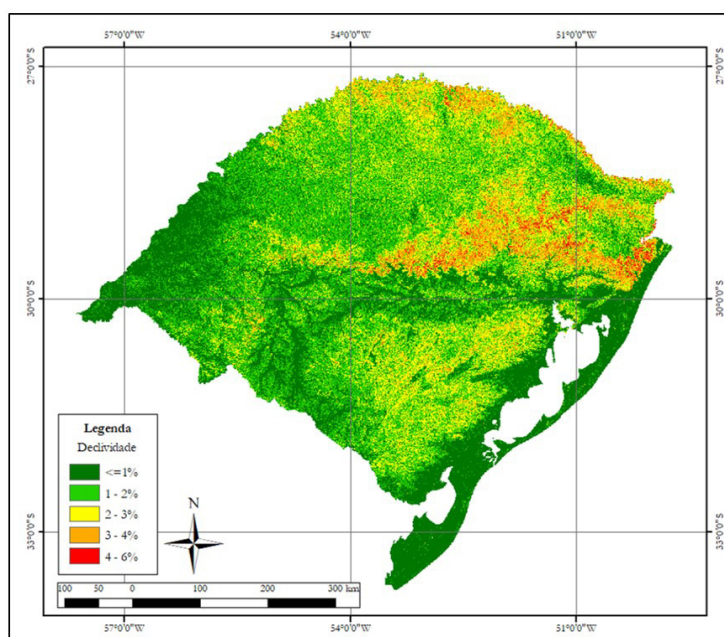


Figura 5. Declividades do Rio Grande do Sul.

Portanto, a quantidade total de estações subtrai a área urbana do restante do estado, de forma que a mesma região não seja contabilizada duas vezes. A Tabela 5 apresenta a quantidade final de estações para cada classe, totalizando 117 estações. Para fins de segurança, como haver falha ou danos a alguma estação, serão contabilizadas 120 estações. No entanto, sabe-se que na região Nordeste há a Formação Serra Geral, onde há grandes declividades, as quais não foram contempladas pela resolução do mapa utilizado. A fim de garantir segurança a estas áreas, considerou-se um total de 150 estações, de forma a ser distribuída uma maior quantidade por essas regiões.

**Tabela 5.** Número de estações telemétricas necessárias.

Classe	Área total (km <sup>2</sup> )	Área por estação (km <sup>2</sup> )	Número de estações
Urbana	1.415	20	71
Costeira	33.000	9.000	4
Plana ou suavemente ondulada	237.711	5.750	42

Os custos para a implantação da nova rede hidrometeorológica envolvem o custo com o equipamento, as taxas de importação, visto que os preços no exterior geralmente são mais baixos, e a mão de obra para a instalação. Estes valores foram definidos com base no orçamento da última compra de duas estações meteorológicas realizada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O equipamento utilizado para os cálculos foi o *Wireless Vantage Pro2™ with Standard Radiation Shield (#6152)*, da marca *Davis Instruments*, o qual custa US\$ 695,00, equivalente a cerca de R\$ 3.748,55, com a cotação de 25/11/2022, com o dólar valendo R\$ 5,39. As taxas a serem consideradas, em caso de compra por setor público, são as seguintes:

- Total de equipamentos: 150 estações totalizam R\$ 562.282,50;
- Taxa de variação de 5%: valor contabilizado para possíveis alterações cambiais. Aplicando a taxa ao valor da compra, resulta-se em R\$ 28.115,00;
- Taxas bancárias entre os bancos nacionais e exteriores: calculada por uma relação de proporção, estimada em R\$ 17.392,00;
- Taxas do despachante: calculada por uma relação de proporção, estimada em R\$ 181.231,00.

Somando o valor total dos equipamentos com todas as taxas, chega-se a um custo arredondado de 800 mil reais. No entanto, como essas estações não medem o nível da água, é necessária a compra de linígrafos. Para isso, foram contabilizados 150 linígrafos com as mesmas taxas aplicadas às estações meteorológicas. Foi obtido um custo total arredondado para 500 mil reais.

Além dos custos com a compra, é necessário calcular-se o custo com a instalação. Para isso, entram nos cálculos os custos com o material para a base de concreto das estações (cimento, areia e brita) e com as diárias da equipe de instalação, estimados da seguinte forma:

- Concreto com proporção 1:1:1: um saco de cimento com 50 kg custa cerca de R\$ 22,00 e rende para aproximadamente 10 estações, sendo necessários 12 sacos. Um saco de areia com 20 kg custa R\$ 4,00 e rende para 4 estações, sendo necessários 30 sacos. A brita compra-se por metro cúbico, sendo 1 m<sup>3</sup> suficiente e custando R\$ 90,00. O valor total é de R\$ 474,00;
- A diária da equipe de instalação varia bastante, aqui será considerado o valor de R\$ 50,00 por trabalhador. Considerando uma equipe de dois hidrotécnicos, com honorários de R\$ 100,00, e seis meses para a instalação de todos os equipamentos, totaliza-se o valor de R\$ 306.000,00.

Ainda, para o cálculo da vazão a partir do nível d'água, é necessária a medição periódica de vazões para cada ponto, devendo ser contabilizado o valor para o equipamento de medição de vazão. No caso do presente estudo, considerou-se que quatro equipamentos são necessários, um ADCP e um *Flow Tracker* para cada equipe (considerando duas equipes de campo). Portanto, estima-se aqui o valor de 800 mil reais para a compra do equipamento, valor que contempla o custo de aquisição de um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) e um *Flow Tracker*, utilizando como base o orçamento da compra realizada pela ANA. Dessa forma, o valor total arredondado de investimento inicial na nova rede telemétrica será de R\$ 2.307.000,00.

Tanto para o ano da instalação da rede quanto para os seguintes, é necessária a realização de idas a campo quatro vezes por ano para coleta de novos dados de vazão e nível para a construção e aprimoramento da curva-chave. Além disso, essas idas a campo também seriam utilizadas para a realização da manutenção da rede. Cada ida a campo considera dois hidrotécnicos com honorário de R\$ 100,00 e diárias de R\$ 50,00, sendo consideradas duas equipes que atuem simultaneamente, além

da compra de dois carros por ano, com custos de gasolina e manutenção, estimando-se para isto R\$ 150.000,00. Dessa forma, o valor total anual arredondado, considerando ida a todas as estações em um mês, é de R\$ 560.000,00.

Para os anos seguintes à instalação da rede, é necessário considerar falhas de equipamentos, com necessidade de serem completa ou parcialmente substituídos. Para a compra e instalação destes equipamentos, estimou-se o valor como 10% do custo inicial com a nova rede, totalizando R\$ 230.700,00.

Por fim, deve-se considerar também o valor de manutenção do escritório dos hidrotécnicos, sendo este valor anual considerado como R\$ 30.000,00.

O custo-total do Cenário II consiste no total para a implantação e manutenção da rede hidrométrica e os custos relativos ao sistema de previsão, apresentados no Cenário I.

#### 4.4 Custo-benefício para os cenários

O custo-benefício é calculado dividindo-se o valor das perdas poupadas pelo custo com o sistema de previsão. Pappenberger et al. (2015) ressaltam que as perdas não podem ser todas evitadas, variando conforme as medidas tomadas após o alerta ser emitido. A Tabela 6 mostra a porcentagem de danos evitados devido a cada medida, sendo o máximo relacionado a sistemas de alerta de 36,68%, o que resulta em uma média anual de R\$75.131.819,50.

**Tabela 6.** Porcentagem de danos evitados devido a cada medida protetora (Adaptado de Pappenberger et al., 2015).

Medida	Danos evitados
Operações da defesa civil (FDO)	32%
Manutenção do curso d'água (WCM)	0,9%
Operações comunitárias (CBO)	0,36%
Resistência dependente de alerta (WDR)	0,0036%
Conteúdos movidos e evacuados (CME)	5,7%
Medidas pelo alerta com antecedência (FDO + WCM + CBO)	32,85%
Total (FDO + WCM + CBO + WDR + CME)	36,68%

Os custos totais para cada cenário foram divididos entre o primeiro e os demais anos, visto que o primeiro requer investimentos iniciais que não serão necessários futuramente. Dessa forma, os custos de cada cenário são:

- a. Cenário I – primeiro ano:
  - Desenvolvimento e operação do sistema de previsão: R\$ 2.103.000,00.
- b. Cenário I – demais anos:
  - Operação do sistema de previsão: R\$ 1.720.500,00
- c. Cenário II – primeiro ano:
  - Compra e instalação da nova rede completa: R\$ 2.307.000,00;
  - Idas a campo quatro vezes por ano para coleta de novos pontos e manutenção da rede, considerando o custo dos carros, valor total anual: R\$ 560.000,00;
  - Desenvolvimento e operação do sistema de previsão: R\$ 2.103.000,00;
  - Valor total: R\$ 4.970.000,00;
- d. Cenário II – demais anos:
  - Operação do sistema de previsão: R\$ 1.720.500,00
  - Compra e instalação de equipamentos que precisem ser substituídos em caso de danos ou falhas: R\$ 230.700,00;
  - Idas a campo quatro vezes por ano para coleta de novos pontos e manutenção da rede, considerando o custo dos carros, valor total anual: R\$ 560.000,00;
  - Valor total: R\$ 2.511.200,00;

Porém, Pappenberger et al. (2015) também ressaltam o fato de que os modelos de previsão nem sempre irão acertar, havendo dois tipos de falhas: falsos positivos e falsos negativos. Um falso positivo é quando o modelo prevê uma inundação que acaba não acontecendo, havendo prejuízo caso haja

mobilização de proteção contra impactos. Já o falso negativo é quando uma inundação não é prevista, mas ocorre, não sendo lançado alerta e, conseqüentemente, não havendo nenhuma mobilização para redução de danos. A fim de estimar a taxa de acertos, levantaram o número de inundações registradas pelo EM-DAT e os acertos dos alertas do EFAS para o período entre 2007 e 2013, encontrando um valor de 55% de acertos. O mesmo valor foi usado no presente trabalho, visto que se trata de um sistema de previsão novo, não sendo possível o cálculo da taxa de acertos dele. Assim, calculou-se o custo-benefício dos cenários apresentados utilizando a Equação 1, cujos resultados são mostrados na Tabela 7.

$$CB = \frac{TA*TP*PT}{CT}$$

Onde CB é o custo-benefício, TA é a taxa de acertos do sistema de previsão (%), TP é a taxa de proteção da medida utilizada após o alerta (%), PT são os prejuízos totais (reais) e CT é o custo total do sistema (reais).

**Tabela 7.** Custo-benefício dos cenários conforme medidas de proteção tomadas após o alerta.

Medida de Proteção	Taxa de prejuízos evitados	Cenário I			Cenário II		
		1º ano	Anos seguintes	20 anos depois	1º ano	Anos seguintes	20 anos depois
Operações da defesa civil (FDO)	32%	R\$ 19,14	R\$ 23,40	R\$ 23,14	R\$ 8,81	R\$ 16,51	R\$ 15,82
Manteneção do curso d'água (WCM)	0,90%	R\$ 0,54	R\$ 0,66	R\$ 0,65	R\$ 0,25	R\$ 0,46	R\$ 0,44
Operações comunitárias (CBO)	0,36%	R\$ 0,22	R\$ 0,26	R\$ 0,26	R\$ 0,10	R\$ 0,19	R\$ 0,18
Resistência dependente de alerta (WDR)	0,0036%	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Conteúdos movidos e evacuados (CME)	5,70%	R\$ 3,41	R\$ 4,17	R\$ 4,12	R\$ 1,57	R\$ 2,94	R\$ 2,82
Medidas pelo alerta com antecedência (FDO + WCM + CBO)	32,85%	R\$ 19,65	R\$ 24,02	R\$ 23,75	R\$ 9,05	R\$ 16,95	R\$ 16,24
Total (FDO + WCM + CBO + WDR + CME)	36,68%	R\$ 21,94	R\$ 26,82	R\$ 26,52	R\$ 10,10	R\$ 18,92	R\$ 18,13

Além da taxa de acertos, Pappenberger et al. (2015) considera a evolução do sistema de previsão com o tempo, comparando resultados obtidos em diferentes períodos de dados. Novamente, não é possível realizar tal análise visto que o sistema é novo, então foi feita a estimativa de melhora para 20 anos, considerando o primeiro ano no cálculo. A Tabela 8 apresenta o custo-benefício dos dois cenários para uma evolução de 10, 20 e 30%, considerando as medidas de proteção na melhor estimativa, com 32,85% de redução de danos.

**Tabela 8.** Custo-benefício previsto em 20 anos de utilização de cada cenário considerando evoluções no sistema.

Evolução	Cenário I	Cenário II
0%	R\$ 26,52	R\$ 18,13
10%	R\$ 31,35	R\$ 21,43
20%	R\$ 36,17	R\$ 24,72
30%	R\$ 40,99	R\$ 28,02

## 5. DISCUSSÕES

Percebe-se que o custo-benefício do Cenário I é mais elevado do que o obtido para o Cenário II. Isto era esperado, uma vez que o Cenário I pressupõe que os custos com os dados serão oriundos de outras fontes.

Foram utilizadas, em ambos os cenários, as mesmas taxas de acertos, de forma que se desconsiderou a maior qualidade da rede hidrometeorológica nova, visto que seria projetada para abranger corretamente áreas principalmente importantes para previsão de cheias, o que não acontece,

por exemplo, na rede já existente. Devido à falta de dados, não foi estimada a diferença de acertos de cada cenário, mas sabe-se que com mais dados, há maior precisão nas previsões.

Também é interessante notar o aumento do custo-benefício com a evolução do sistema, o que incentiva a avaliação constante dos resultados e melhorias possíveis. Porém, mesmo sem evolução em relação à atual taxa de acertos, há custo-benefício positivo, sugerindo que existe o interesse econômico neste investimento.

Como certos valores utilizados nos cálculos podem variar muito, com destaque para as taxas de importação dos equipamentos, assim como a quantidade de honorários a serem pagos para a sua instalação, devido à possível necessidade de um período ou uma equipe maior ou menor para serem todos instalados, os resultados obtidos possuem uma margem de erro. Possivelmente os valores de prejuízos utilizados na análise são subestimados, visto que se percebe a ausência de alguns eventos no banco de dados utilizados, como a cheia do rio Forqueta em 2017. O custo com a compra de estações também pode estar subestimado, caso sejam adquiridos equipamentos de marcas mais caras.

No entanto, considerando-se os elevados valores de custo-benefício calculados confirma-se que é vantajoso economicamente investir em prevenção do que em remediação. Destaca-se a necessidade da união de medidas protetoras após a emissão do alerta de risco de inundação.

## 6. CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado, as principais conclusões foram:

- Desenvolver um sistema de previsão de inundações retorna de R\$ 26,52 a R\$ 40,99 por real gasto para um cenário que não incluía custos de monitoramento;
- Considerando os custos do monitoramento, o retorno é de R\$ 18,13 a R\$ 28,02 por real gasto;
- Se o custo do monitoramento fosse absorvido somente pelas previsões, ele já geraria benefícios econômicos tangíveis;
- Os valores adotados neste estudo não foram corrigidos pela inflação. Caso fossem, possivelmente o impacto positivo seria ainda maior.

## REFERÊNCIAS

- A Hora. (2020). *Enchente é a quarta maior da história*. Recuperado em 20 de fevereiro de 2023, de <https://grupoahora.net.br/conteudos/2020/07/09/enchente-esta-entre-as-maiores-da-historia/>
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2014). *Atlas de vulnerabilidade a inundações*. Recuperado em 20 de fevereiro de 2023, de [https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas\\_de\\_Vulnerabilidade\\_a\\_Inundaes.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf)
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2022). *Rede Hidrometeorológica Nacional*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>
- Associação Catarinense dos Engenheiros Ambientais – ACEAMB. (2015). *Tabela de honorários mínimos para trabalhos em engenharia ambiental*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://aceamb.org.br/tabela-de-honorarios/>
- Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. (2012). Instrução Normativa 001, de 24 de agosto de 2012. *Diário Oficial da União*, Brasília, n. 169, seção 1, p. 30.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (2010). *Mapa de declividade em percentual do relevo brasileiro*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Mapa-de-Declividade-em-Percentual-do-Relevo-Brasileiro-3497.html>
- Doocy, S., Daniels, A., Murray, S., & Kirsch, T. D. (2013). The human impact of floods: a historical review of events 1980–2009 and systematic review. *PLOS Currents*, 5. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://currents.plos.org/disasters/article/the-human-impact-of-floods-a-historical-review-of-events-1980-2009-and-systematic-literature-review/>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (1979). *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos: súmula da X reunião técnica de levantamento de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://edepot.wur.nl/480004>
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756-760. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1150195>

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010). *Censo Demográfico de 2010*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=43>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020). *Censo Demográfico de 2020*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>.
- Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F., Aerts, J. C. J. H., Bates, P., Bertola, M., Kemter, M., Kreibich, H., Lall, U., & Macdonald, E. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nat Rev Earth Environ*, 2, 592-609. <http://dx.doi.org/10.1038/s43017-021-00195-3>
- Pappenberger, F., Cloke, H. L., Parker, D. J., Wetterhall, F., Richardson, D. S., & Thielen, J. (2015). The monetary benefit of early flood warnings in Europe. *Environmental Science & Policy*, 51, 278-291.
- Reckziegel, E. W. (2018). *Áreas com risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí* (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Silva, D. E., & Buffon, F. T. (2020). Avaliação econômica da operação do Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Caí entre os anos de 2009 e 2020. In *II Encontro Nacional de Desastres*. Porto Alegre: ABRhidro.
- Silveira, A.L.L (2020). Chuvas e vazões da grande enchente de 1941 em Porto Alegre/RS. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, 35, 69-90.
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2002). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2002 e 31/12/2002 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2003). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2003 e 31/12/2003 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2007). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2007 e 31/12/2007 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2008). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2008 e 31/12/2008 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2009). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2009 e 31/12/2009 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2010). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2010 e 31/12/2010 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2011). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2011 e 31/12/2011 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2012). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2012 e 31/12/2012 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2013). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2013 e 31/12/2013 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2014). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2014 e 31/12/2014 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2015). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2015 e 31/12/2015 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2016). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2016 e 31/12/2016 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>

- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2017). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2017 e 31/12/2017 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2019). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2019 e 31/12/2019 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2020). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2020 e 31/12/2020 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2021). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2021 e 31/12/2021 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC. (2022). *Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados entre 01/01/2022 e 31/12/2022 - Rio Grande do Sul*. Recuperado em 10 de outubro de 2022, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>
- Tomazelli, L. J., & Villwock, J. A. (2000). O cenozóico costeiro do Rio Grande do Sul. In: M. Holz & L.F. De Ros (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul* (pp. 375-406). Rio Grande do Sul: UFRGS.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction – UNDRR. (2015). *Global Assessment Report on disaster risk reduction (GAR2015)*. New York: United Nations.
- Wollmann, C. A. (2014). Enchentes no Rio Grande do Sul no século XXI. *Mercator (Fortaleza)*, 13(1), 79-91.

#### **Contribuições dos autores:**

Lara Cruz Nonnemacher: A autora realizou o trabalho de dados, processamento de dados, teste de simulação, análise de dados e foi responsável pela redação final do artigo.

Fernando Mainardi Fan: O autor auxiliou na concepção da ideia, revisão da literatura, revisão dos dados, redação do artigo, correções e sugestões.