



Rede
Hidrometeorológica
Nacional

AVALIAÇÃO DE CUSTOS E BENEFÍCIOS DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL – ESTUDOS DE CASOS

SUMÁRIO EXECUTIVO



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente da República

**Ministério da Integração e do
Desenvolvimento Regional**

Waldez Góes

Ministro

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Diretoria Colegiada

Veronica Sánchez da Cruz Rios

Filipe de Mello Sampaio Cunha

Ana Carolina Argolo

Nazareno Marques de Araújo (interino)

Marcelo Medeiros (interino)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS

Prof. Carlos André Bulhões Mendes

Reitor

Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS

Prof. Joel Avruch Goldenfum

Diretor

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Ministério da Integração Nacional e
do Desenvolvimento Regional

Brasília – DF
ANA
2024

© 2024, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Edifício Sede Bloco M
CEP 70.610-200 – Brasília/DF
Telefone: (61) 2109-5400 | (61) 2109-5252
Endereço eletrônico: www.gov.br/ana/pt-br

Comitê de Editoração

Joaquim Gondim (Coordenador)
Humberto Cardoso Gonçalves
Ana Paula Fioreze

Créditos editoriais

Universidade Federal do
Rio Grande do Sul
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Grupo de Pesquisa em Plane-
jamento e Gestão – GESPLA
www.ufgrs.br/warp

Guilherme Fernandes Marques
(coordenador, Prof. IPH/UFRGS)
Iporã Brito Possantti
Ana Paula Dalcin
Marcela Nectoux
Márcio Inada
Emanuel Duarte Silva
Juliano Santos Finck

Equipe técnica ANA

Marcelo Jorge Medeiros
Mateus Monteiro de Abreu
Flávio Hadler Tröger
Wesley Gabrieli de Souza
Diana Wahrendorff Engel

Catálogo na fonte: Divisão de Biblioteca/CEDOC

A265i Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil)
Avaliação de Custos e Benefícios da Rede Hidrometeorológica Nacional:
sumário executivo – estudos de casos / Agência Nacional de Águas e
Saneamento Básico ; Instituto de Pesquisas Hidráulicas. – Brasília : ANA, 2024.

41 p.
ISBN: **XXXX**

1. Hidrometeorologia 2. Valor (Economia). 3. Controle de Custo. I. Título.
II. Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

CDU 551.579:330.133

Elaborada por Fernanda Medeiros – CRB-1/1864

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

Sumário

1. Apresentação	6
2. Introdução	7
3. Contexto	9
4. Considerações Iniciais	12
5. Análise dos custos	13
6. Análise dos benefícios – Cadeias causais	14
6.1 Análise Qualitativa de Benefícios	16
6.1.1 Setor de Gestão de Recursos Hídricos	16
6.1.2 Setor de Saneamento	17
6.1.3 Setor Agrícola	19
6.1.4 Setor de Produção de Energia	20
6.1.5 Poder Público local/regional, Infraestrutura e Defesa Civil	20
6.1.6 Setor de Navegação	21
6.2 Análise Quantitativa de Benefícios	22
6.2.1 Setor de produção de energia – Potencialização de usinas PCH e definição de garantias físicas	23
6.2.2 Setor de produção de energia – Sistema hidrelétrico de larga escala	24
6.2.3 Setor de gestão de recursos hídricos – Planejamento de revitalização de bacias	25
6.2.4 Prevenção de desastres – Modelo integrado de previsão de inundações com sistema de alerta de cheias e mapeamento de inundações	26
7. Considerações finais	27

1. Apresentação

Todas as atividades produtivas na sociedade são afetadas, direta ou indiretamente, pelas condições climáticas e hidrológicas. Já as atividades que fazem uso de recursos naturais, modificam o ambiente com obras de engenharia ou promovem a ordenação e ocupação do espaço são particularmente dependentes do comportamento clima e da água. Por esta razão, sempre que houver incerteza acerca das variáveis hidroclimatológicas, teremos um fator de risco nas decisões de investimento e produção, que refletem na economia e vida das pessoas. Ao considerarmos os cenários de mudanças do clima, que apontam para comportamentos hidrológicos futuros mais variáveis e de previsão mais difícil com base em dados e padrões do passado, perceberemos que esse risco tende a aumentar.

Hoje no Brasil, a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), operada sob a responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), cumpre uma função de extrema importância ao fornecer dados que nos permitem conhecer melhor o comportamento da água e do clima no país. Embora seja clara a visão de que esse maior conhecimento sobre as chuvas e vazão e níveis dos rios é o que nos permite projetar e construir infraestruturas e prestar serviços públicos, como sistemas de alerta e resposta a eventos críticos de secas e inundações, com menores incertezas e maior desempenho, o valor e os benefícios produzidos pela RHN e seu valor para a sociedade ainda são pouco conhecidos no Brasil.

Visando reduzir essa lacuna de conhecimento, o estudo aqui apresentado reúne os resultados de um importante trabalho de prospecção de informações

e pesquisa, que contempla propostas metodológicas, por meio de estudos de casos, para expressar a relação entre os investimentos realizados no monitoramento hidrológico e os benefícios produzidos quando as informações resultantes desse monitoramento são utilizadas por diferentes setores usuários.

O trabalho vem reforçar, portanto, a importância da manutenção do monitoramento hidrológico e da necessidade de se aprimorar a atuação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA na coordenação da Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN, a qual é fundamental para o conhecimento da quantidade e qualidade dos recursos hídricos no País, bem como para subsidiar e qualificar decisões tomadas por órgãos e entidades públicas e privadas a partir dos dados de monitoramento hidrológico. A RHN é mais do que um patrimônio nacional que permite aos cidadãos conhecerem melhor os recursos naturais do país, como a água, e promover o seu uso racional e conservação; é um ativo capaz agregar valor a virtualmente todas as cadeias produtivas da sociedade.

Diretoria Colegiada da ANA

2. Introdução

Em 2019, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA estabeleceu uma parceria com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – para o desenvolvimento de estudo sobre o valor dos dados e informações hidrológicas para a sociedade, visando reforçar a importância estratégica dessas informações para o país e contribuir para a garantia dos investimentos necessários à manutenção e ao



aperfeiçoamento da Rede Hidrometeorológica Nacional.

À época, a parceria foi firmada por meio do Termo de Execução Descentralizada nº 06/2019/ANA, celebrado entre a ANA e o CNPq, tendo como executor técnico o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, reconhecido como uma instituição de referência em atividades de ensino, pesquisa e desenvolvimento científico sobre recursos hídricos no Brasil e na América Latina.

Como resultado do desenvolvimento do projeto de pesquisa executado pelo IPH/UFRGS com financiamento da ANA, foi elaborado um conjunto de Cadernos que contemplam um inventário e caracterização da Rede Hidrometeorológica Nacional nas regiões hidrográficas do país, com um levantamento sistemático dos custos de implantação e operação da rede de monitoramento sob responsabilidade da ANA em todas as regiões do país. A partir desse levantamento, o projeto abordou aspectos gerais do uso dos dados hidrológicos, na forma de cadeias causais, para os setores usuários do saneamento, produção agrícola e industrial, geração de energia, transportes e de infraestrutura e defesa civil. Desse setores, um conjunto foi selecionado para a quantificação dos benefícios decorrentes do uso de dados hidrológicos, que foram confrontados com os custos de produção dos dados da RHN, permitindo assim uma análise de custos e benefícios.

Ao explorar as cadeias causais de uso dos dados hidrológicos, o estudo identificou os fluxos de informações e processos de tomada de decisão associados, mostrando como as mesmas se conectam a um conjunto amplo de setores usuários que se beneficiam positivamente em consequência do uso dessas informações.

A análise quantitativa dos benefícios decorrentes do uso de dados hidrológicos envolveu os setores liga-

dos à produção de energia, ao planejamento de ações de revitalização de bacias hidrográficas, às ações de previsão de inundações e ao subsídio ao planejamento de longo prazo no processo de ordenamento do uso e ocupação do solo nas áreas sujeitas à inundações. Todas as análises quantitativas resultaram em elevadas relações benefício/custo, indicando benefícios muitas vezes maior que os investimentos realizados para o monitoramento.

O material produzido, sintetizado neste sumário executivo, permite concluir que as metodologias propostas tiveram êxito na demonstração da relação benefício/custo da disponibilidade de dados hidrológicos para as cadeias causais analisadas, tendo potencial para replicação em outros estudos de caso e confirmando que a disponibilidade de mais e melhores informações sobre a variabilidade e incerteza hidrológica permitem melhores decisões em relação ao uso dos recursos naturais.

3. Contexto

Todas as atividades produtivas que fazem uso de recursos naturais modificam o meio com obras de engenharia ou ainda promovem a ordenação e ocupação do espaço estão sujeitas às variáveis climáticas e hidrológicas, cuja ocorrência no espaço e no tempo é incerta. Tal incerteza introduz um fator de risco nas decisões envolvendo localização, projeto, operação e resposta das atividades. Decisões tomadas ainda em fase de projeto serão determinantes no desempenho, custos e benefícios produzidos durante toda a vida útil de uma infraestrutura, solução técnica ou sistema de alerta e resposta, que normalmente se acumula por várias décadas e envolve um grande número de pessoas afetadas direta ou indiretamente.



Quanto mais se conhece sobre volumes de chuva, vazão e níveis dos rios, quantidade de sedimentos, evaporação e qualidade da água, menores são as incertezas sobre o desempenho do projeto ou solução técnica, e menores os riscos durante a sua operação. Por outro lado, projetos normalmente absorvem maiores riscos adotando maiores coeficientes de segurança e soluções técnicas mais conservadoras, o que invariavelmente resulta em super-dimensionamento (maiores custos) e menos oportunidades de uso dos recursos naturais como a água e as planícies de inundação (menores benefícios).

Nesse contexto, o conhecimento acerca das variáveis hidrológicas e climatológicas é o insumo fundamental que possamos identificar e gerir os riscos. Em termos práticos, isso significa melhorar a nossa capacidade em tomar decisões envolvendo não apenas a localização, projeto e operação de diversas atividades, mas sobretudo ações de adaptação e resposta a eventos críticos como cheias e estiagens, reduzindo riscos e custos para a sociedade. A melhor capacidade de tomada de decisão e gestão de risco é um dos aspectos chave para a segurança hídrica, que por sua vez é o pilar para a garantia da segurança energética, alimentar e econômica de um modo geral.

No Brasil, a Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN, coordenada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA e que abrange a Rede Nacional de Qualidade da Água – RNQA, constitui fundação de diversos sistemas de informação, com destaque para o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, que é utilizado para a tomada de diversas decisões. A Rede é composta pelas estações de respon-

sabilidade da ANA, de setores regulados pela Agência, de entidades cooperadas, como é o caso das estações da RNQA, e de redes ou estações pertencentes a outras entidades que enviam dados para a ANA para disponibilização à sociedade. Atualmente, ANA é responsável por manter uma rede composta por mais de 4 mil estações que monitoram o volume de chuvas, o nível e a vazão dos rios, a quantidade de sedimentos, a evaporação e a qualidade das águas.

Nesse contexto, é importante destacar a relevância do Serviço Geológico do Brasil – CPRM/SGB, instituição parceira da ANA e que, desde a década de 1970, tem atuado na instalação, manutenção e operação contínua de estações hidrológicas no âmbito da Rede Hidrometeorológica Nacional, sendo atualmente responsável por cerca de 75% das estações de responsabilidade da ANA e 40% das estações da Rede Hidrometeorológica Nacional. Cabe ainda ressaltar o protagonismo da CPRM/SGB na manutenção de Sistemas de Alerta Hidrológicos que, subsidiado pelos dados disponibilizados no âmbito da Rede Hidrometeorológica Nacional, possibilitam tomadas de decisões que ajudem a população vulnerável em situações de desastres naturais, cujos padrões de frequência, intensidade e previsibilidade vêm se alterando em razão das mudanças do clima.

Embora de importância abrangente e significativa no contexto nacional, o valor e os benefícios produzidos pela Rede Hidrometeorológica Nacional são ainda pouco conhecidos no país. Considerando a extensa cadeia de processos e decisões que fazem emprego de dados e informações hidrológicas em face ao número reduzido e especificidade dos estudos já realizados na área, verifica-se que persiste ainda uma grande lacuna

de conhecimento sobre os seus benefícios e o valor econômico para a sociedade.

4. Considerações Iniciais

O presente trabalho foi idealizado a partir da necessidade identificada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA de um embasamento técnico aprofundado a respeito dos benefícios associados à operação da Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN, com o propósito de contribuir para sanar a lacuna identificada. O trabalho foi conduzido pelo Grupo de Pesquisa em Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos – GESPLA, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, sendo financiada pela ANA por meio de parceria com o CNPq. O objetivo geral foi determinar o valor e os custos da RHN para um conjunto de setores usuários. O trabalho começou pela elaboração de inventários das cadeias de usos dos dados e informação produzidos pela RHN, seguido da análise dos custos da mesma e avaliação dos benefícios associados a esses usos. A avaliação dos benefícios foi feita de forma qualitativa para um recorte mais amplo de setores usuários, e de forma quantitativa para um sub-conjunto específico.

Espera-se que os resultados e conclusões aqui apresentados contribuam para o melhor conhecimento, por parte da sociedade e tomadores de decisão, sob o amplo escopo de utilização dos dados e informações hidrológicas, bem como de um indicativo do seu valor para a sociedade brasileira. Acreditamos que esse conhecimento é importante para justificarmos a manutenção e aperfeiçoamento constante da Rede Hidrometeorológica Nacional.

5. Análise dos custos

A análise detalhada do inventário e custos da rede permitiu um melhor conhecimento sobre as diferentes categorias de custos presentes na coleta dos dados e como esses custos variam conforme as regiões brasileiras, que apresentam distintos desafios logísticos. Os custos operacionais foram investigados em três componentes: a inspeção e manutenção das Estações (1), o pagamento do serviço de anotação ou guarda da estação para os colaboradores (2) e das medições específicas do ponto (3), como medição de vazão por molinete ou doppler, sedimentos, qualidade da água, entre outras. Os custos foram contabilizados na forma de custo operacional unitário anual específico, feito por ponto de monitoramento (um ponto de monitoramento agrega uma ou mais estações de um mesmo local para fins de gestão, tais como roteiro de coleta, investimentos e manutenção). As 4.829 Estações da RHN sob responsabilidade da ANA foram agregadas em 3.691 Pontos de Monitoramento.

A média dos custos ficou superior ao valor de referência (R\$ 10.500,00 anuais por ponto de monitoramento) empregado pela ANA, variando de R\$29.400/ano*ponto na região Norte a R\$14.500/ano*ponto na região Sul, indicando diferenças regionais significativas. Entretanto, dentre as componentes do custo de operação, os custos de medição são os mais representativos em todas as regiões geográficas e regiões hidrográficas. Todas as informações sobre os custos da rede foram estruturadas em um sistema de banco de dados georreferenciado criado no presente projeto, denominado de SIGRede, e disponibilizado à ANA.

6. Análise dos benefícios – Cadeias causais

No contexto dos recortes analisados durante o projeto, verificamos que dados e informações hidrológicas são fundamentais onde a tomada de decisão sobre o uso da água e do solo está sujeita às incertezas temporais e espaciais decorrentes de variáveis climáticas e hidrológicas.

Quando a incerteza está associada à possibilidade de alguma perda, temos a presença do risco. A quantificação do risco se mostrou necessária tanto para planejar e implementar medidas de adaptação e mitigação em escala local e regional (como, por exemplo, em um sistema de abastecimento ou na produção agrícola), quanto para definir estratégias e políticas de recursos hídricos, meio ambiente, energia e economia.

Dessa forma, quanto melhor conhecemos o risco diante de incertezas, melhor a nossa capacidade de tomar decisões. Estas envolvem não apenas a localização, projeto e operação de diversas atividades, mas sobretudo ações de adaptação e resposta a eventos críticos, como cheias e estiagens. Essa melhor capacidade decisória é fundamental para gerir e reduzir o risco, sendo um dos aspectos chave para a segurança hídrica.

A análise dos benefícios foi organizada a partir de cadeias causais, que associam o emprego dos dados e informações hidrológicas às ações e decisões empreendidas por diversos setores usuários, explorando qual o impacto causado pela disponibilidade (ou falta) da

informação. De um modo geral, existem dois aspectos presentes aos benefícios. Um envolve os benefícios associados às condições atuais de tomada de decisão nos diversos setores, que incluem tanto a possibilidade de maiores ganhos e menores custos, com a redução na incerteza sobre as águas, quanto a possibilidade de se evitar perdas com desastres e decisões em situações de risco. Um segundo aspecto, que surge como desdobramento do primeiro, envolve as mudanças no clima associadas a aumentos na variabilidade e incerteza da disponibilidade de água para usos diversos. As mudanças e impactos já previstos foram reforçadas pelo último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC para o Brasil (2022), ao destacar maior risco à segurança alimentar e hídrica, além do comprometimento da infraestrutura, agravando perdas econômicas, interrupções de serviços e impactos sobre o bem-estar da população. A perspectiva de aumento em incertezas e riscos com mudanças no clima torna os dados e informações hidrológicas ainda mais relevantes e valiosos para a atualidade e futuro próximo, uma vez que diversas decisões de longo prazo já estão sendo tomadas hoje, como, por exemplo, aquelas relacionadas à expansão em sistemas energéticos e de abastecimento de água e proteção contra cheias.

A ampla gama de setores que utilizam os dados da Rede Hidrometeorológica Nacional e produzem benefícios levou à necessidade de identificação de recortes específicos para a identificação e detalhamento das cadeias causais. Um primeiro conjunto de recortes foi abordado de forma qualitativa, fazendo emprego de fontes de dados primárias e secundárias. Foram consultados documentos, artigos científicos e relatórios técnicos, além da realização de entrevistas semiestruturadas



com profissionais atuantes nos diferentes setores.

Já a atribuição de custos e benefícios requer uma abordagem quantitativa, com emprego de ferramentas de modelagem específicas conforme as decisões tomadas pelo setor, a exemplo de funções de produção, preços de produtos e custos de insumos, além de valores atribuídos ao uso do solo (no caso de desastres). No presente projeto, um segundo conjunto de recortes foi abordado de forma quantitativa, se valendo de métodos de modelagem específicos, alguns dos quais desenvolvidas exclusivamente para o trabalho.

6.1 Análise Qualitativa de Benefícios

6.1.1 Setor de Gestão de Recursos Hídricos

O setor de Gestão de Recursos Hídricos apresenta uma forte dependência dos dados e informações hidrológicas, embasado na premissa de que não se poder gerir de forma efetiva e eficiente aquilo que não se conhece bem. O setor faz extensivo uso dos dados e informações, desde a racionalização e otimização de projetos e operação de infraestrutura hídrica para melhoria na disponibilidade hídrica, a avaliação da disponibilidade hídrica atual e realização de prognósticos futuros para a identificação das vulnerabilidades nas bacias, além da implementação dos demais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, como outorga, cobrança pelo uso da água, enquadramento dos corpos d'água, planos de bacia e sistemas de informação sobre recursos hídricos. A identificação de soluções de alocação negociada da água, bem como a operação de salas de situação e salas de crise durante eventos

críticos, que dependem do status hidrológico das bacias, também demandam dados e informações hidrológicas. Limitações na capacidade de monitoramento de variáveis hidrológicas, como vazão dos rios, impedem não apenas a efetividade dos instrumentos, mas sobretudo a implementação de novas abordagens e avanços, como Outorgas com Gestão de Garantia e Prioridade. Quanto melhor a disponibilidade de dados e informação a este setor, mais flexível pode ser a operação da infraestrutura hídrica e alocação da água para atender aos usos múltiplos (sobretudo em situações de escassez), menores as possibilidades de conflitos e maior capacidade em entender e gerir o risco das decisões tomadas.

6.1.2 Setor de Saneamento

O setor de Saneamento apresenta uma ampla demanda por dados e informações hidrológicas para a tomada de decisão. Na prestação de serviços de abastecimento de água, os dados permitem conhecer o impacto de variáveis hidrológicas na demanda da população pela água, cujas previsões determinam ajustes nos níveis de reservatórios para a otimização operacional e redução em gastos com energia. Sazonalmente, dados históricos são empregados para avaliar as demandas em períodos de estiagem e planejamento da operação dos Sistemas de Abastecimento de Água - SAA. A médio prazo, a previsão auxilia a tomada de decisões de manobra nos SAA com alterações na produção de água tratada conforme a resposta esperada de cada manancial às chuvas, resultando em maior segurança operacional, segurança hídrica e redução em custos. Na expansão da capacidade produtiva, os dados permitem conhecer o comportamento hidrológico (tendência) dos mananciais para a antecipação a problemas futuros.



Nesse caso, os dados são empregados na análise local conforme a variabilidade e potencial de produção de água da bacia, bem como a previsão do nível de água em eventos de cheia, de modo a minimizar a ocorrência intermitências no abastecimento público por indisponibilidade hídrica ou por inundação das estruturas de captação e tratamento de água. Tal avaliação resulta em escolhas com menor risco de falhas no abastecimento e maior retorno do capital investido.

No que diz respeito aos serviços públicos de esgotamento sanitário, os dados hidrológicos são imprescindíveis ao processo de avaliação do impacto dos lançamentos de efluentes das Estações de Tratamento de Esgotos – ETEs em corpos hídricos receptores, a partir do conhecimento de sua capacidade de diluição e considerando-se os limites dos parâmetros de qualidade correspondentes à sua classificação. Este aspecto é essencial para a escolha dos pontos de lançamento e dimensionamento de emissários, sendo observado nos processos de licenciamento e outorga de direito de uso para esses empreendimentos. Ademais, a disponibilidade de dados históricos de chuva possibilita o adequado dimensionamento das estruturas que compõem os sistemas de esgotamento sanitário, de modo a minimizar a ocorrência de extravasamentos de efluentes não tratados e consequente impactos na qualidade dos recursos hídricos.

Para a prestação de serviços públicos de drenagem urbana, dados históricos são necessários na definição de chuvas e vazões de projeto, curvas intensidade-duração-frequência de chuvas e períodos de retorno, variáveis utilizadas no dimensionamento de infraestruturas e instalações operacionais. Os dados são

também empregados na configuração e calibração de modelos chuva-vazão para a simulação da resposta das bacias urbanas aos eventos de chuva de projeto. Os resultados constituem a informação básica para a avaliação do desempenho e escolha da melhor solução de drenagem, combinando diferentes alternativas de controle.

Finalmente, no que diz respeito à gestão de resíduos sólidos, dados e informações hidrológicas são especialmente importantes para o planejamento e operação de aterros, análise de alternativas locais, estudo de impactos ambientais e avaliação do potencial gerador de lixiviado para o dimensionamento dos sistemas de drenagem e tratamento de efluentes.

6.1.3 Setor Agrícola

Para o setor Agrícola, dados e informações hidrológicas são necessários para reduzir os riscos e danos para a colheita; controle de pragas; otimização do calendário de plantio, rega e colheita; otimização no projeto de estruturas e sistemas hidráulicos de captação e distribuição de água e otimização da operação do sistema de irrigação, por meio da minimização do consumo de água e energia. Mesmo a produção agrícola de sequeiro depende dos dados e informações hidrológicas para o zoneamento agrícola de risco climático, instrumento fundamental à formulação, melhoria e operacionalização de programas e políticas públicas para a produção agrícola, que são a base da segurança alimentar no país. Quanto melhor a disponibilidade desses dados para o setor Agrícola, mais otimizado e eficiente será o uso do solo, da água e da energia, melhor será o planejamento de ações no plantio, manejo e colheita, menores serão os riscos e perdas relacionados aos fenômenos climáti-

cos adversos e melhor a capacidade local (municípios) em identificar períodos ideais para plantio de diferentes culturas.

6.1.4 Setor de Produção de Energia

Para o setor de Produção de Energia, que no Brasil depende fortemente da água tanto para gerar quanto para armazenar energia, dados e informações hidrológicas são necessários não apenas ao planejamento da expansão e otimização da operação, mas também ao planejamento do processo de transição para sistemas com menor emissão de gases efeito estufa (GEE), baseados em fontes geradoras intermitentes, como usinas solares fotovoltaicas e usinas eólicas. Modelos de previsão subsazonal (com base em modelagem atmosférica-hidrológica) já são uma realidade que está sendo incorporada à operação do sistema, permitindo que o acompanhamento de condições de precipitação seja incorporado à previsão, reduzindo a incerteza sobre afluições futuras aos reservatórios. Quanto melhor a disponibilidade desses dados para o setor Energético, mais eficiente será a otimização do despacho das usinas e fontes geradoras frente à incerteza hidrológica, melhor a flexibilidade operacional para acomodar outras demandas hídricas (o que reduz impactos ambientais e conflitos entre usos), mais eficiente será a integração com fontes geradoras intermitentes (e maior o seu potencial realizado), menor o risco de crises energéticas e, finalmente, mais estável o preço da energia.

6.1.5 Poder Público local/regional, Infraestrutura e Defesa Civil

Para o Poder Público local/regional, Infraestrutura e Defesa Civil dados e informações hidrológicas

são necessários não apenas para o mapeamento de áreas de inundação e de risco, informação essencial no planejamento urbano e ocupação de planícies de inundação, mas sobretudo para a configuração e operação de Sistemas de Alerta e Resposta que irão orientar a Defesa Civil em ações para proteção da população e do patrimônio. Quanto melhor a disponibilidade desses dados para o Poder Público local/regional, Infraestrutura e Defesa Civil, maior o conhecimento sobre os riscos de inundação das áreas ocupadas e melhor a capacidade de prever eventos críticos, resultando em maiores danos evitados, menores riscos à vida das pessoas e menores os custos de operação de Sistemas de Alerta e Resposta (Defesa Civil).

6.1.6 Setor de Navegação

Para o setor de Navegação, dados e informações hidrológicas são necessários tanto para a determinação de gabaritos hidroviários, que estabelecem requisitos para obras e melhoria das condições de navegabilidade, com reflexos na capacidade de escoamento de carga, bem como para a realização de previsões necessárias à operação das próprias hidrovias, embarcações e portos, notadamente as previsões de níveis de água das vias navegáveis. Quanto melhor a disponibilidade desses dados para o setor da Navegação, melhor o aproveitamento das vias navegáveis, que trazem mais economicidade e menor emissão de poluentes se comparado aos demais meios de transporte de carga, e melhor o planejamento operacional pelos responsáveis pelas embarcações na tomada de decisão sobre rotas e cronogramas. Este último permite aumentar a segurança e reduzir os custos envolvidos navegação, minimizando a ocorrência de acidentes e imprevistos

como encalhamentos em função de variações no nível da água e, conseqüentemente, economizando recursos, evitando perdas e danos às embarcações e reduzindo riscos à vida das tripulações.

6.2 Análise Quantitativa de Benefícios

A análise pormenorizada e quantitativa dos benefícios dos dados e informações hidrológicas requer a definição de recortes específicos de decisões tomadas em cada setor. O presente trabalho identificou quatro desses recortes, seguindo critérios de disponibilidade de informações sobre os respectivos setores e importância do recorte no contexto atual brasileiro. Destaca-se que embora os vários setores já apresentados tenham importância estratégica no contexto brasileiro, nem todos puderam ser explorados por limitações de tempo, recursos e disponibilidade de informações. Como se trata também de projeto com caráter de investigação, para cada recorte aqui apresentado foram desenvolvidas e implementadas metodologias inovadoras para a sua avaliação quantitativa. Tal aspecto traz, além da contribuição dos resultados aos objetivos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, contribuições para a comunidade técnica e científica no Brasil e no mundo, na forma de produção científica qualificada e formação de recursos humanos.

Os quatro recortes explorados no estudo foram distribuídos da seguinte forma: dois recortes para o setor de produção de energia (um envolvendo a tomada de decisão sobre usinas PCH e outro envolvendo a operação de um sistema hidrelétrico de larga escala), um recorte

envolvendo gestão de recursos hídricos (planejamento de revitalização de bacias) e um recorte envolvendo prevenção de desastres (modelo integrado de previsão de inundações com sistema de alerta de cheias e mapeamento de inundações).

6.2.1 Setor de produção de energia – Potencialização de usinas PCH e definição de garantias físicas

Essa análise envolveu a tomada de decisão sobre a potencialização de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs e definição de garantias físicas para contratos de venda de energia, e um tendo como área de aplicação um trecho do Rio Turvo, bacia do Taquari Antas, RS. No caso das PCHs, séries de dados de menor qualidade podem superestimar (ou subestimar, conforme o intervalo de dados disponível) garantias físicas, reduzindo oportunidades de geração (ou trazendo maiores riscos nos contratos).

Ao se analisar diversos cenários que levam em consideração tamanhos diferentes de séries históricas de vazão (de 30 a 80 anos), em combinação com quantidade de dados disponíveis de vazão para as estações, avaliamos que o emprego de séries de dados de menor qualidade pode superestimar a garantia física, resultando em diferenças significativas (de 9,6% a 25,8%).

Verificamos então que, a partir deste estudo de caso, a cada R\$ 1,00 gasto no custeio da rede para produzir os dados de melhor qualidade (séries mais longas e de melhor resolução temporal) são esperados benefícios que variam de R\$ 40,00 a R\$ 106,00 conforme o cenário de disponibilização de dados, os quais foram estimados a partir da redução no custo do erro decorrente



da superestimativa da garantia física de usinas PCH.

6.2.2 Setor de produção de energia – Sistema hidrelétrico de larga escala

Essa análise envolveu a operação de um sistema hidrelétrico de larga escala, tendo como área de aplicação a bacia do Rio Paraná, com emprego de previsão subsazonal em diferentes horizontes. No caso da operação do sistema de larga escala na Bacia do Rio Paraná, a disponibilidade dos dados permite não apenas a determinação de funções de valor futuro da água mais precisas, o que se reverte em operação mais aderente às incertezas e variabilidade hidrológica na região e, portanto, capaz de gerar mais energia, mas também a elaboração e implementação de modelos de previsão subsazonal, que possibilitam ampliar os ganhos energéticos na medida em que condições de precipitação podem ser atualizadas diariamente e incorporadas à operação. Considerando ganhos energéticos valorados pelo custo marginal de geração no curto prazo, avaliamos que em um intervalo de 10 anos, cada R\$ 1,00 investido na RHN para disponibilizar dados ao processo de decisões de operação hidrelétrica no recorte da bacia do Paraná pode trazer um retorno de R\$ 134,00. Se os dados hidrológicos forem empregados na elaboração, calibração e uso de modelos de previsão subsazonais, o retorno pode aumentar para R\$ 1234,00 a cada R\$ 1,00 investido. Em termos energéticos, os resultados mostraram um potencial incremento na energia gerada variando de 3,8%, com a previsão estatística, até 19,5%, com a previsão sub-sazonal. A disponibilidade de 35 anos de dados observados permitiu um valor acumulado em desempenho de 31.786 GWh (3,8%) em cinco

anos, o que representa aproximadamente R\$ 3,8 bilhões considerando o Preço de Liquidação das Diferenças – PLD médio em cada ano dentro do intervalo de cinco anos. Com a incorporação da previsão sub-sazonal, o ganho acumulado pode chegar a 165.018 GWh (19,5%) em cinco anos, se comparado com uma situação com disponibilidade limitada de dados, representando R\$ 35,4 bilhões em valor acumulado.

Cabe destacar que, futuramente, em razão de avanços esperados nos métodos e tecnologias de previsão hidroclimática, bem como das maiores incertezas nas previsões em decorrência das mudanças do clima, a relação benefício-custo da RHN poderá ser ainda maior.

6.2.3 Setor de gestão de recursos hídricos – Planejamento de revitalização de bacias

Essa análise envolveu o setor de gestão de recursos hídricos, mais especificamente o planejamento da revitalização de Bacias Hidrográficas, tendo como área de aplicação a bacia hidrográfica do Arroio Castelhanos, no Rio Grande do Sul. Em programas de revitalização de bacias, é necessária a definição de políticas de alocação de recursos, indicando áreas selecionadas para receber investimentos. Entretanto, a escassez de recursos torna importante a priorização dos investimentos considerando o seu desempenho (por exemplo, vazão e escoamento produzidos). Como o desempenho é estimado via modelagem hidrológica, que contém incertezas, pode haver erros na política de alocação de recursos uma vez que investimentos realizados em áreas cuja incerteza é maior trazem consigo a maior possibilidade de que o efeito desejado não seja alcançado com o programa. Dessa forma, tem-se como objetivo investir os recursos disponíveis em áreas de menor incerteza. Para esse



recorte, verificamos que diferentes conjuntos de dados hidrológicos conduziram a diferentes políticas de alocação, ou seja, diferentes imóveis rurais foram selecionados como prioritários para investimentos segundo critério de desempenho hidrológico. Nesse caso, séries mais longas de dados permitiram melhor estimativa da incerteza na simulação dos efeitos hidrológicos buscados com programas de revitalização. O resultado prático foi uma redução nos erros de uma política de alocação de recursos que corresponderam a um custo evitado de 26% do custo total de um programa de revitalização, para o exemplo considerado na análise. Considerando os custos da Rede Hidrometeorológica Nacional na área de estudo, esse ganho em eficiência do programa de revitalização ao mapear os imóveis prioritários corresponde a um retorno de R\$ 4,00 para cada R\$ 1,00 investido na RHN.

6.2.4 Prevenção de desastres – Modelo integrado de previsão de inundações com sistema de alerta de cheias e mapeamento de inundações

A última análise quantitativa de cadeias causais específicas investigou como os dados e informações hidrológicas podem ser empregadas em ferramentas de previsão de nível de cheias e mapeamento de áreas inundáveis. Para esse recorte, tomou-se como área de aplicação os municípios de São Sebastião do Caí e Montenegro (RS), sujeitos a cheias frequentes no Rio Caí. Verificamos que os dados e informações hidrológicas permitem o mapeamento de áreas inundáveis com os respectivos períodos de retorno que, se empregados no melhor planejamento urbano, poderiam trazer um retorno (em danos e perdas evitadas) de até R\$ 14,00 para

cada R\$ 1,00 investido em um horizonte de 50 anos. Cabe destacar que nem todas as perdas podem ser evitadas com medidas não estruturais dessa natureza, uma vez que restrições demasiadamente severas em ambientes urbanos já desenvolvidos não são, de forma geral, economicamente viáveis.

Se os dados e informações forem empregados na configuração e implementação de um Sistema de Alerta, a sua operação pode trazer ainda um retorno (em perdas e custos evitados) de até R\$ 661,00 para cada R\$ 1,00 investido, em um horizonte de apenas 8 anos.

7. Considerações finais

Embora todos os recortes explorados possuam características e dados específicos, os subsídios para a tomada de decisões são válidos para outras regiões do Brasil. Ao longo do desenvolvimento, os resultados do projeto mostraram de forma clara que o investimento na Rede Hidrometeorológica Nacional traz retornos que podem chegar a várias ordens de grandeza os valores investidos, sendo indiscutível assegurar recursos para a sua manutenção, operação e aprimoramentos a longo prazo.

No presente e de forma mais significativa no futuro próximo, a tomada de decisão para a gestão de recursos hídricos e toda a cadeia produtiva e econômica no Brasil se dará em um ambiente cada vez mais complexo, seja pelas condições de infraestrutura e logística envolvidas, quanto pela quantidade de dados de fontes diversas e, ainda, incertezas decorrentes de mudanças do clima. Avanços científicos e tecnológicos incluem a



Sumário executivo

transformação digital com o maior emprego de satélites, radares, balões meteorológicos, além de evolução na tecnologia de sensores e microcontroladores. O futuro próximo trará a necessidade cada vez maior da integração entre esses instrumentos e métodos de coleta de dados com modelos matemáticos para o seu processamento e elaboração de previsões, o que envolve tanto Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) quanto Sistemas de Suporte à Decisão (SSD). Exemplos incluem o avanço de abordagens de aprendizado de máquina (machine learning), deep learning, mineração de dados (data mining) e inteligência artificial, que já trazem maior capacidade de processamento e identificação de padrões em sistemas complexos. Isso significa um futuro com modelos capazes não apenas de analisar sistemas terrestres isolados (ex: circulação atmosférica) mas sobretudo de avaliar teleconexões e feedbacks entre sistemas diferentes, o que será essencial para melhorar a nossa capacidade de planejamento, previsão, alerta e resposta a eventos extremos.

Todo o contexto apresentado de variabilidade e incertezas hidrológicas, complexidade tecnológica, mudanças no clima e nos usos do solo com a presença de eventos extremos de cheias e secas, mostra que o futuro da Rede Hidrometeorológica Nacional aponta para a necessidade de assegurar recursos não apenas para manter a sua qualidade, mas sobretudo para permitir a incorporação dos avanços, integrando novas tecnologias de coleta de dados e aperfeiçoando métodos e algoritmos. Nesse cenário, e considerando-se as incertezas decorrentes das mudanças do clima, a manutenção e evolução da RHN é a fundação que dará à sociedade brasileira a capacidade de gerir estrategicamente os seus recursos naturais, especialmente a água, avaliar

Sumário executivo

e mitigar riscos no uso desses recursos e garantir a segurança hídrica e a estabilidade necessárias ao crescimento econômico sustentado.





Rede
Hidrometeorológica
Nacional

**AVALIAÇÃO DE CUSTOS E BENEFÍCIOS
DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA
NACIONAL – ESTUDOS DE CASOS**
SUMÁRIO EXECUTIVO

Execução



INSTITUTO DE
PESQUISAS HIDRÁULICAS



Apoio



Realização



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO

MINISTÉRIO DA
**INTEGRAÇÃO E DO
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL**



0 51000 01251 7