

Polo



ProfÁgua

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA

**ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO DAS INFORMAÇÕES
PROVENIENTES DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA
NACIONAL – APLICAÇÃO NA CADEIA CAUSAL DA
GARANTIA FÍSICA DE PCHS**

MARCELA PEIXOTO NECTOUX

Porto Alegre/RS
2021

Polo



ProfÁgua



ProfÁgua



MARCELA PEIXOTO NECTOUX

ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO DAS INFORMAÇÕES PROVENIENTES DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL – APLICAÇÃO NA CADEIA CAUSAL DA GARANTIA FÍSICA DE PCHS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) Polo IPH/UFRGS como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques

Banca examinadora:

Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira

Prof. Dr. Ney Maranhão

Porto Alegre/RS
2021

Nectoux, Marcela

ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO DAS INFORMAÇÕES
PROVENIENTES DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL -
APLICAÇÃO NA CADEIA CAUSAL DA GARANTIA FÍSICA DE PCHS
/ Marcela Nectoux. -- 2021.

155 f.

Orientador: Guilherme Fernandes Marques.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas,
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Análise Custo Benefício. 2. Garantia Física. 3.
Rede Hidrometeorológica Nacional . 4. Cadeia Causal .
I. Marques, Guilherme Fernandes, orient. II. Título.

Polo


UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



ProfÁgua

" An investment in knowledge pays the best interest "

Benjamin Franklin

AGRADECIMENTOS

Ao ProfÁgua, e todos os professores e servidores envolvidos neste curso, pela oportunidade de aprofundar meus estudos na área de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos. Acredito que este é um programa de mestrado de fundamental importância para os profissionais que atuam na área de recursos hídricos do Brasil.

Aos colegas do ProfÁgua pela parceria e troca de conhecimentos ao longo do curso. O aprendizado que tive na convivência em sala de aula contribuiu muito para a experiência do mestrado.

Aos meus gestores na Somar Meteorologia pelo apoio na realização desse mestrado e aos meus colegas de trabalho, que me deram todo o suporte para que eu pudesse cursar as disciplinas. Em especial ao meu colega e amigo Lucas Giacomelli, que me auxiliou a desvendar as planilhas e simulações geradas neste trabalho.

Aos técnicos da ANA, especialmente o coordenador da SGH, Mateus Monteiro de Abreu, pela confiança no trabalho realizado e empenho em subsidiar o Projeto da Rede Hidrometeorológica Nacional com todas as informações necessárias.

Aos profissionais entrevistados para a presente dissertação, referência nas suas áreas, e que ajudaram muito na tarefa desafiadora de explorar o escopo do Projeto a partir do seu conhecimento. Em especial, agradeço à Eng. Fabiana Lutkemeyer que, além de todo o apoio e tempo dedicado ao auxílio dessa pesquisa, forneceu os dados para as simulações propostas que foram de grande valor ao resultado final alcançado.

Aos colegas do Projeto de Pesquisa, Iporã (que me ajudou com as figuras do inventário de custos), Márcio e Juliano pelo comprometimento e empolgação nesse Projeto que nos desafiou, e do qual estamos muito orgulhosos pelos resultados. Não poderia ter tido parceiros melhores!

Ao meu orientador Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques pela oportunidade de realizar este trabalho. Obrigada pela confiança depositada em mim e pelas palavras de motivação e engajamento

que sempre demonstrou por essa pesquisa. Agradeço por todos os ensinamentos compartilhados e pelo exemplo de profissional e mentor que és para mim.

À minha família, pelo suporte irrestrito e por terem cultivado em mim, desde a infância, os valores e ética profissional que me guiam no caminho pelo aprendizado e evolução constantes. Em especial, agradeço a minha mãe Ivone por estar sempre ao meu lado e com quem desejo sempre compartilhar todas as minhas conquistas.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA). A dissertação conta também com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

RESUMO

NECTOUX, Marcela. ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO DAS INFORMAÇÕES PROVENIENTES DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL – APLICAÇÃO NA CADEIA CAUSAL DA GARANTIA FÍSICA DE PCHS Dissertação. Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Rede Nacional ProfÁgua, IPH/UFRGS, Porto Alegre. 2021.

No Brasil, os dados hidrometeorológicos são coletados por uma rede de mais de 40 mil estações que completou 100 anos em 2020. Desde a sua criação, a Agência Nacional de Águas passou a ser responsável pela gestão dessa Rede e operação de 22% do total de pontos de monitoramento. Dada a complexidade de operação dos equipamentos e manutenção dessa estrutura de coleta e armazenamento de dados, o custo da Rede é significativo. São cerca de 50 milhões de reais ao ano, montante que representa cerca de 1/3 do orçamento para projetos da Agência. Em razão do alto custo da gestão da Rede e escassa bibliografia documentando os benefícios auferidos a partir da informação gerada a partir dela, a presente dissertação, parte de um Projeto de Pesquisa mais amplo denominado Projeto da Rede Hidrometeorológica Nacional, aplicou uma metodologia de análise custo benefício com o objetivo de determinar o valor dos dados provenientes da Rede. A metodologia é centrada na construção de cadeias causais, fluxos que relacionam inputs de dados para um determinado fim considerando as relações causais no processo. Para esse propósito, foi identificado um recorte de aplicação no âmbito da geração hidrelétrica para investigar de que forma os dados hidrometeorológicos apoiam a tomada de decisão. A aplicação selecionada foi o cálculo da garantia física de uma PCH, que indica, com base em dados históricos de vazão, qual a potência que poderá ser comercializada em um leilão de energia nova ou no livre mercado. Para simular a influência do tamanho da série e também a qualidade do dado hidrometeorológico (séries de vazão diária ou horária) a PCH Primavera, localizada no rio Turvo, bacia do Taquari-Antas, foi utilizada nas simulações. Os resultados demonstram que o tipo de série de vazão utilizado interfere significativamente (até 25,8%) no valor final de garantia física. Do ponto de vista dos custos da Rede, dados secundários recebidos da ANA foram analisados e processados com o uso de ferramentas SIG com o fim de obter um inventário de custos da Rede. O presente trabalho utilizou o recorte de custos para a região hidrográfica do Atlântico Leste cujo custo anual de operação de cada ponto de monitoramento foi estimado em 3.800 reais. Considerando um preço médio de energia de 150 reais por MW médio, as duas estações da Rede utilizadas para geração do histórico de dados de vazão e um contrato de leilão de energia nova de 30 anos, foi possível estabelecer a relação entre custo e benefício, em que o benefício auferido foi definido como a diferença entre a garantia física nos cenários e a garantia física do cenário de referência (série de vazões diárias em um intervalo de 80 anos). A cada real gasto no custeio da Rede no período, correspondeu a um potencial de benefício auferido em termos de energia vendida de 180 reais no cenário com maior delta e 68 reais no cenário com menor delta. Foram apontados também benefícios em termos de apoio à decisão de motorização da PCH e também do percentual que poderá ser vendido no mercado livre de energia. Fica evidente que os investimentos em custeio e planejamento da Rede são em muito superados pelos benefícios auferidos a partir das informações hidrometeorológicas geradas.

Palavras-chave: análise custo benefício, rede hidrometeorológica nacional, cadeias causais

ABSTRACT

In Brazil, hydrometeorological data are collected by a network of over 40,000 gauges which completed 100 years in 2020. Since its creation, the National Water Agency has been responsible for managing this Network and operating 22% of the total monitoring gauges. Given the complexity of operating the equipment and maintaining this data collection and storage structure, the Network cost is significant, approximately 50 million reais a year, an amount that represents about 1/3 of the Agency's project budget. Due to the high cost of managing the Network and the scarce bibliography documenting the benefits gained from the information generated, this dissertation, part of a broader Research Project called the National Hydrometeorological Network Project, applied a cost benefit analysis methodology in order to determine the value of the data obtained from the Network. The methodology is centered on the construction of causal chains, flows that relate data inputs for a given purpose considering the causal relationships within the process. For this purpose, a scope perspective was identified in hydroelectric generation to investigate how hydrometeorological data support decision-making. The selected perspective was the calculation of the physical guarantee of a small hydropower plant (SHP), which indicates, based on historical flow data, how much can be traded in a new energy auction or on the free market. To simulate the influence of the series size and hydrometeorological data quality (daily or hourly flow series) the SHP Primavera, located in the Turvo river, Taquari-Antas basin, was used in the simulations. The results demonstrate that the type of flow series significantly interferes (up to 25.8%) in the final physical guaranteed value. Regarding the Network costs, secondary data received from ANA were analyzed and processed using GIS tools in order to obtain an inventory. The perspective used for the costs was the East Atlantic, hydrographic region whose annual operating cost for each monitoring point was estimated at 3,800 reais. Considering an average energy price of 150 reais per average MW, a 30-year new energy auction contract and two Network gauges used to generate historical flow data, it was possible to establish the relationship between cost and benefit, in that the benefit earned was defined as the difference between the physical guarantee in the scenarios and the physical guarantee in the reference scenario (series of daily flows over an 80-year period). Each real spent on the Network corresponded to 180 reais in potential benefit in terms of energy sold in the scenario with the highest difference and 68 reais in the scenario with the lowest difference. Benefits were also pointed out in terms of decision support to motorize the SHP and the percentage that could be sold on the free energy market. It is evident that investments in Network management are far outweighed by the benefits gained from the hydrometeorological information obtained.

Key Words: Cost Benefit Analysis, national hydrometeorological network, causal chains

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produtos previstos no Projeto de Valoração da Rede Hidrometeorológica Nacional.	18
Figura 2 – Estações cadastradas na RHN classificadas por tipo de dado medido.	21
Figura 3 – Eixos da ANA associados às Redes de Monitoramento.	26
Figura 4 – Infográfico RHN.	28
Figura 5 – Linha do tempo da RHN.	25
Figura 6 – Cadeia de usos das informações provenientes da rede hidrometeorológica	39
Figura 7 – Diagrama de avaliação das estações.	40
Figura 8 – Distribuição temporal de Estações fluviométricas e pluviométricas no mundo.	47
Figura 9 – Custos operacionais e de equipamentos (depreciação) da equipe que executa as atividades de operação e manutenção das 61 estações hidrológicas do Sistema Rios-Online da Epagri SC.	53
Figura 10 – Custo de cada dado produzido pelas estações hidrológicas do Sistema Rios-Online da Epagri SC, obtido dividindo-se o custo anual de operação e manutenção pelo número de leituras realizada pelas estações.	54
Figura 11 – Ilustração da Garantia física de uma usina versus a sua geração real, mostrando sua independência.	57
Figura 12 – Ilustração da Garantia física de uma usina versus a sua geração real, mostrando sua independência.	58
Figura 13 – Fluxograma de etapas da Metodologia.	60
Figura 14 – Custos totais da RHN de 2008 a 2020 com a distinção entre custos de aquisição e operação. a. Custos de aquisição e operação. b. Custo total anual e suas componentes.	62
Figura 15 – Custos médios anuais da rede (em milhares de reais por ano) por região hidrográfica. a. Contagem de Pontos de Monitoramento. b. Densidade de Pontos de Monitoramento em unidades por 10 mil quilômetros quadrados. c. componentes do custo total. d. Custo total por região. e. Componentes do custo médio. f. Custo médio por região.	63
Figura 16 – Custos médios anuais da rede (em milhares de reais por ano) nas regiões hidrográficas presentes no Rio Grande do Sul.	64
Figura 17 – Cadeia Causal Geral.	67
Figura 18 – Localização do Eixo do barramento da PCH Primavera do Turvo e respectivas estações (Passo do Guaiaveira e Passo do Prata) utilizadas como fonte dos dados históricos de vazão no cálculo da garantia física.	71
Figura 19 – Cenarização conforme avaliação do benefício pelo tamanho da série.	72
Figura 20 – Cenarização conforme avaliação do benefício pelo tipo de dado.	73
Figura 21 – Aproveitamentos e estações localizadas no Rio Turvo/RS.	79
Figura 22 – Cadeia Causal para o recorte de aplicação selecionado: cálculo da garantia física de PCHs.	82
Figura 23 – Série de vazões usada para o cálculo da garantia física no cenário de vazões mensais no intervalo de 1990-2019. A=a. série de vazões da estação, b. vazões turbináveis, c. potência gerada no mês. Uma escala de cores foi utilizada para categorizar a potência gerada no mês ou dia, sendo o vermelho a potência zero por não ter atingido o mínimo turbinável a cor verde quanto atingiu o limite da potência máxima instalada de 25MW, valores em amarelo e laranja são valores intermediários entre esses limites de geração.	83
Figura 24 – Resultado da garantia física (MW médio) nos três cenários de intervalo de dados e diferenciando a qualidade do dado entre dado diário ou mensal.	86

Figura 25 – Resultado da garantia física (MW médio) nos seis cenários, considerando três possibilidade de motorização: duas, três e quatro turbinas. No segundo quadro está colocada a diferença entre os cenários (delta).....	88
Figura 26 – Análise Custo Benefício (em reais) considerando o recorte de aplicação da PCH Primavera do Turvo, nos seis cenários de dados propostos.	91
Figura 27 – Análise Custo Benefício (em reais) considerando a extrapolação linear dos resultados obtidos para o recorte de aplicação para o trecho inventariado.	92
Figura 28 – Resultado global da análise custo benefício para o recorte de aplicação e para a extrapolação para o trecho inventariado. À esquerda, a relação CB considerando o cenário com maior diferença para o cenário de referência. À direita, o cenário considerando a menor diferença para o cenário de referência.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ACB - Análise Custo Benefício
ANA - Agência Nacional de Águas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
MRE – Mecanismo de Realocação de Energia
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
OD - Oxigênio Dissolvido
OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCD - Plataforma de Coleta de Dados
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PSA – Pagamento por Serviços Ambientais
RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional
RHNR – Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência
RNQA – Rede Nacional de Qualidade da Água
SAR – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH – Sistema Nacional de Informação em Recursos Hídricos
USGS - United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	<i>Introdução</i>	15
2	<i>Objetivos</i>	17
3	<i>Revisão Bibliográfica</i>	19
3.1	Redes Hidrometeorológicas no Brasil	19
3.2	Rede Nacional de Qualidade de Água	22
3.3	Evolução Histórica	23
3.4	A Rede em números	26
3.5	Legislação atinente à aquisição e acesso aos dados.....	28
3.6	Instituições envolvidas	29
3.7	Análise custo-benefício.....	31
3.8	Aplicação da ACB na orientação de políticas públicas	33
3.9	Análise custo benefício para redes de monitoramento hidrometeorológico	34
3.10	Cadeias causais	37
3.11	Uso dos dados Hidrometeorológicos : perspectiva da demanda	41
3.12	Inventário das redes hidrometeorológicas: perspectiva dos custos.....	47
3.13	Demanda pelo uso de dados hidrometeorológicos no segmento de hidroenergia	54
3.13.1	Pequenas Centrais Hidrelétricas.....	55
3.13.2	Preço médio de energia	56
3.13.3	Cálculo da Garantia Física	57
3.13.4	Decisões envolvidas na venda de energia.....	58
4	<i>Metodologia</i>	60
4.1	Custo: Análise e processamento de dados secundários	61
4.2	Demanda: Entrevista para detalhamento dos usos	65
4.3	Recorte da tipologia de uso	66
4.4	Identificação de um recorte de aplicação	68
4.5	Desenho da cadeia causal do recorte escolhido	69
4.6	Simulação dos cenários propostos	70
4.6.1	Área de estudo.....	71
4.6.2	Cenarização proposta.....	72
4.7	Comparação de Custos e Benefícios entre os cenários	77
4.8	Estimativa de benefício para o recorte de tipologia de uso	79
5	<i>Resultados e Discussão</i>	81
5.1	Cadeia causal para o segmento de hidroenergia	81

5.2	Resultados da garantia física entre os cenários propostos	83
5.3	ACB para a garantia física de PCHs.....	90
6	<i>Conclusão</i>	95
7	<i>Um olhar para o futuro</i>	96

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os dados hidrometeorológicos e de qualidade da água são registrados em campo por meio de uma rede de equipamentos chamadas de Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e Rede Nacional de Qualidade da Água (RNQA). Em 2020, a Agência Nacional de Águas completou 20 anos e a Rede, por sua vez, 100 anos.

Os dados provenientes das redes são usados nas mais diversas aplicações das quais se destacam o monitoramento hidrometeorológico, os estudos hidrológicos para inventários hidrelétricos, os estudos de disponibilidade hídrica, o cálculo de infraestruturas viárias, a previsão de vazões para operação do setor elétrico e os estudos hidrológicos para orientar o enquadramento.

No Relatório Anual de Gestão (ANA, 2019), na seção de apresentação da RHN, esse conjunto de estações é descrito como o meio pelo qual as informações sobre quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos são obtidas. Ainda, o Relatório afirma que as informações provenientes da Rede são necessárias para a sociedade e para diversos setores econômicos e também pelos entes governamentais e agentes privados, que planejam e decidem seus investimentos (no curto e no longo prazo) com base nessas informações.

A responsabilidade da coordenação das atividades relativas às redes é da Agência Nacional de Águas (ANA) com custo anual de 53 milhões de reais (2019), cerca de 13% do orçamento anual da agência. No entanto, se considerarmos apenas o orçamento para projetos, a Rede representa cerca de 1/3 do total, montante bastante representativo em ambos recortes.

Como salienta Carvalho (2005), a alocação de recursos em um determinado projeto ou uso, invariavelmente, se traduz no comprometimento da verba para outro uso. Quando os recursos disponíveis são escassos em relação às demandas, faz-se necessário uma alocação cada vez mais criteriosa e otimizada, na busca de se obter o melhor benefício em relação aos recursos investidos. Tal aspecto é ainda mais importante em se tratando de recursos públicos.

Nesse sentido se destaca o planejamento da Rede Hidrometeorológica de Referência. O Relatório de Gestão (2019) esclarece que o planejamento deste projeto de estações de referência

vem sendo cuidadosamente realizado de forma a observar a melhor relação custo-benefício possível. Essa preocupação com o embasamento econômico para o planejamento é sustentada pela bibliografia recente sobre o tema. Xu *et. al.* (2017) afirmam que a coleta de dados hidrometeorológicos realizada pelas redes é custosa e, portanto, é essencial que se pense na otimização do desenho dessas redes com um número mínimo de estações para que esse custo seja reduzido.

Considerando a extensa e ampla cadeia de processos e decisões que fazem emprego de dados e informação hidrometeorológica 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. A Rede, mais do que um patrimônio nacional que irá permitir aos cidadãos conhecer melhor recursos naturais como solo, ar e água e promover o seu uso racional e conservação, é um ativo capaz agregar valor à virtualmente todas as cadeias produtivas no país. O presente trabalho tem como foco o segundo elemento, como meio para a busca do primeiro.

A presente dissertação busca, portanto, contribuir para preencher essa lacuna, tendo como objetivo geral determinar o valor e os custos da Rede Hidrometeorológica Nacional e da Rede Nacional de Qualidade da Água, considerando um escopo específico de uso. Nesse contexto, o trabalho deverá trazer duas contribuições principais: (1) proposta metodológica para determinação dos benefícios a partir de cadeias causais e (2) determinação do custo benefício da rede para o recorte específico do cálculo da garantia física de PCHs.

Em 2020 foi aprovado o Projeto de Pesquisa com financiamento do CNPQ (em parceria com a ANA) no qual o escopo da presente dissertação está inserido. Desde sua gênese, o Projeto de Rede Hidrometeorológica Nacional teve o intuito de fornecer subsídios técnicos e econômicos para a tomada de decisão por parte da Agência gestoras das Redes, a Agência Nacional de Águas.

Finalmente, destaca-se ainda que a presente dissertação é oportuna em vista do momento econômico atual no Brasil, em que cortes e alterações em propostas de orçamentos para gastos públicos já vêm colocando em risco diversos setores importantes. A informação sobre o valor dos dados e informação hidrometeorológica nesse contexto é um elemento estratégico para resguardar os investimentos necessários à qualificação da Rede Hidrometeorológica Nacional.

2 OBJETIVOS

Frente ao contexto apresentado, a presente dissertação tem como objetivo geral realizar uma análise custo benefício da Rede Hidrometeorológica Nacional, considerando um recorte de aplicação. Os objetivos específicos são:

- Elaborar um inventário da cadeia de decisões e geração de informação a partir dos dados produzidos pela Rede Hidrometeorológica Nacional para um recorte específico de uso;
- Elaborar uma avaliação dos custos associados à Rede para um recorte específico de uso;
- Elaborar uma avaliação dos benefícios econômicos associados ao recorte de uso específico, o cálculo de garantia física de PCHs.

Conforme mencionado na Introdução, o presente trabalho se insere no âmbito do Projeto de Pesquisa cadastrado no CNPq: “Inventário e Avaliação de Custos e Benefícios da Rede Hidrometeorológica Nacional e da Rede Nacional de Qualidade de Água”, com financiamento da Agência Nacional de Águas e sendo executado pelos pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas. O Projeto é orientado pelo Professor Dr. Guilherme Marques e tem como objetivo geral investigar o **valor** da Rede Hidrometeorológica Nacional em diversos recortes de uso.

Aqui é importante esclarecer que os objetivos da presente dissertação sofreram uma adaptação de modo a capturar o escopo final que o direcionamento metodológico propôs. Isto é, os objetivos originais eram comuns entre a dissertação e o Projeto das Redes. Com a evolução da Pesquisa e identificação da oportunidade de cenarização e aplicação da metodologia proposta na análise custo-benefício para o segmento hidroenergético, os objetivos da dissertação foram sendo refinados de forma a cotejar os itens que de fato foram abordados ao longo deste trabalho.

No curso do desenvolvimento dessa pesquisa, portanto, a aprovação do projeto foi um divisor de águas no sentido de possibilitar a ampliação do escopo e a materialização dos

resultados em cinco Cadernos que serão os produtos do Projeto. Desta forma, essa dissertação se encaixa no âmbito dos produtos propostos no Projeto no sentido de apresentar a aplicações da metodologia de valoração para o segmento de Hidroenergia, enquanto os demais produtos, irão apresentar os resultados mais abrangentes da pesquisa.

No entanto, é importante frisar que não houve prejuízo de conteúdo, uma vez que o escopo mais amplo da pesquisa será atendido pela entrega de 5 produtos, em formato de Cadernos com a organização proposta na Figura 1.



Figura 1 – Produtos previstos no Projeto de Valoração da Rede Hidrometeorológica Nacional.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma vez que a presente dissertação tem como objetivo a determinação do valor econômico associado às Redes de monitoramento como uma ferramenta de suporte à decisão para a sua gestão no Brasil, a revisão bibliográfica foi dividida da seguinte forma:

Na primeira parte da Revisão são explorados os conceitos gerais a respeito das Redes. Primeiro é apresentado um resgate histórico e conceitual das redes em si: como estão constituídas, quem é responsável por elas, qual a legislação relevante para a gestão das redes. A Revisão parte então para definir brevemente no que se constitui uma análise custo benefício, porque essa ferramenta econômica foi escolhida para o presente trabalho e de que forma o suporte à decisão pode ser auxiliado pelo seu uso. São, após, definidas e contextualizadas na bibliografia as cadeias causais, que foram usadas no presente trabalho para estabelecer de que forma esse dado agrega valor na cadeia de usos dos dados provenientes das Redes.

Na segunda parte da Revisão, são discutidos dois aspectos preponderantes para o objetivo da dissertação, e que depois serão pilares no capítulo da Metodologia: a perspectiva de uso dos dados da rede, isto é, como está definida a cadeia de uso da informação hidrometeorológica na bibliografia e, em contraste, o que existe na bibliografia especializada acerca dos custos envolvidos na manutenção desse tipo de rede de monitoramento.

Por fim, na terceira parte da Revisão, serão explorados os conceitos relativos à aplicação selecionada para a análise proposta pela presente dissertação. Isto é, o uso dos dados provenientes da Rede no cálculo da garantia física de PCHs e o impacto da informação gerada em termos de apoio à tomada de decisão e respectivo benefício econômico auferido.

3.1 REDES HIDROMETEOROLÓGICAS NO BRASIL

A medição de variáveis hidrológicas, basicamente o nível dos rios - que pode ser convertido em medições de vazão por meio de curvas-chave- e o volume de chuva, é uma parte central da hidrologia. O conjunto de pontos de medição, juntamente com os equipamentos manuais ou automáticos que realizam essa medição, é chamado na literatura especializada de rede hidrometeorológica.

Nesse ponto é interessante registrar que, embora essa seja a nomenclatura utilizada pela ANA, é possível encontrar uma miríade de outras nomenclaturas para redes que coletam dados de chuva e nível/vazão dentre as quais se destacam: rede de estações meteorológicas, rede de estações hidrométricas, redes pluviométricas e rede de PCDs. Esses diferentes termos muitas

vezes se distinguem pelo tipo de equipamento utilizado, dado coletado ou instituição responsável pelo dado.

Dessa forma, também cabe aqui colocar que é recomendável que o termo que define o tipo de estrutura seja convenientemente escolhido. Portanto, o uso do termo “rede hidrometeorológica” se refere aos dados coletados nesse tipo de estrutura: basicamente dados de chuva – pluviometria- nível/vazão - hidrologia-. O termo em questão faz sentido uma vez que está baseado na combinação desses dois tipos de dados e será a nomenclatura que será utilizada ao longo do presente trabalho.

Para além da definição da nomenclatura, outra questão que é preliminar à descrição propriamente dita das Redes Hidrometeorológicas é de que forma essas se relacionam com o tema de Gestão de Recursos Hídricos. Para que algo seja gerido, antes é preciso que algum dado ou indicador seja medido. Tal conceito foi explorado por Toledo (2018) que trata das redes geridas pela ANA.

A questão técnica de composição e localização das redes é, portanto, transversal ao tema da gestão e planejamento de Recursos Hídricos. Em Hespanhol, I., & Netto, O. D. M. C., (2001), por exemplo, são descritas as entidades que operam os equipamentos de medição e de que forma a coleta desses dados é central à atividade de planejamento de recursos hídricos.

De acordo com a ANA, entidade responsável pelas Redes no Brasil, o objetivo da Rede Hidrometeorológica Nacional é mapear a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em todo o território nacional. A RHN conta com mais de 20 mil estações pluviométricas e fluviométricas espalhadas por todas as bacias hidrográficas do País.

Tipo de estação

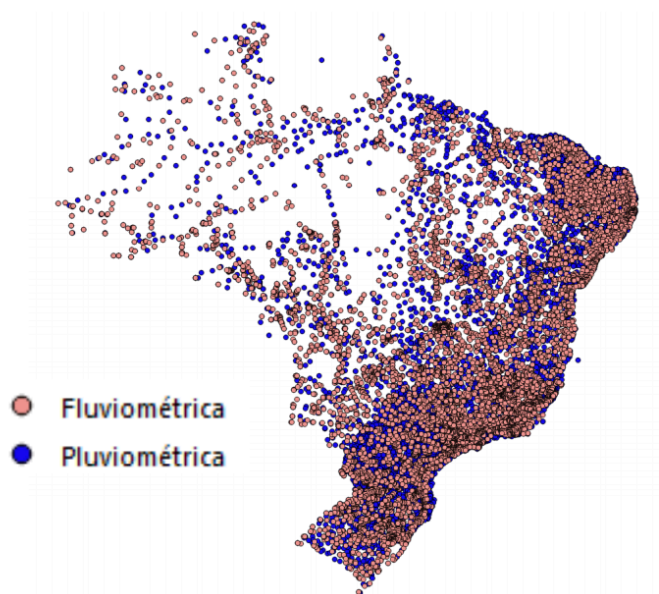


Figura 2 – Estações cadastradas na RHN classificadas por tipo de dado medido.

FONTE: Marques *et.al.* (2021) - Apêndice

Essas estações geram dados hidrológicos que permitem analisar a situação de cada bacia, como a quantidade de chuva, a vazão de rios e a qualidade da água, e a série histórica de dados da RHN já reúne informações das últimas três décadas— quanto maior o período de registros mais confiáveis tende a ser a série de dados e as estimativas feitas com base nelas (TOLEDO, 2018).

Outra informação importante diz respeito à distribuição espacial da rede. Segundo a ANA, das cerca de 4 mil estações (entre pluviométricas fluviométricas) gerenciadas pela ANA, cerca de um terço delas concentra-se em duas bacias – Paraná (856) e Amazonas (765), mais detalhes sobre a densidade de pontos de monitoramentos serão apresentados nos resultados do inventário de custos mas, por hora, é importante notar essa diferença relevante na densidade de pontos de monitoramento no Brasil.

Além da distribuição espacial das estações, outro aspecto importante é onde os dados são armazenados e quem acompanha essas medições. Os dados coletados pelas PCDs são disponibilizados na plataforma Hidroweb, detalhada mais adiante nesse capítulo, e acompanhados em tempo real nas Salas de Situação da ANA – centros de gestão de situação crítica em que especialistas de diferentes áreas apoiam a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos e em articulação com os órgãos da Defesa Civil (FADEL *et.al.*, 2016).

Além de monitorar a quantidade, a RHN também estima a qualidade da água disponível no Brasil. De acordo com a ANA, em 2016 a rede contava com mais de 1,6 mil pontos de monitoramento de qualidade de água em todo o País, acompanhando parâmetros básicos como pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), turbidez e condutividade (TOLEDO, 2018).

Por fim, é válido destacara os itens que, mediante adaptações ou ajustes periódicos, constituem a qualificação da Rede Hidrológica Nacional:

- (i) o arranjo espacial;
- (ii) a manutenção da acurácia dos seus instrumentos de coleta de dados;
- (iii) a modernidade e precisão dos instrumentos;
- (iv) os custos operacionais e de conservação de sua infraestrutura (por exemplo, cercamento ou proteção contra vandalismo nas estações) ;
- (v) os protocolos de aquisição de dados;
- (vi) os custos administrativos;
- (vii) (vii) as informações sistematizadas e disponíveis.

3.2 REDE NACIONAL DE QUALIDADE DE ÁGUA

Com o lançamento Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água (RNQA) em 2013, a ANA efetivou uma estratégia de cooperação entre os operadores das redes de monitoramento, com a padronização e ampliação do monitoramento em nível nacional. Segundo ANA (2017), os Estados permanecem como os principais responsáveis pelo estabelecimento e operação de redes de qualidade da água, porém o resultado é a maior facilidade na geração e interpretação dos dados, além da redução nos custos de implementação e operação.

No que se refere às redes de monitoramento de qualidade da água, os estados brasileiros realizam monitoramento em seus territórios e repassam os dados e informações para a Agência Nacional das Águas (ANA). Entretanto, a existência de diferentes critérios e parâmetros adotados em cada estado torna a comparação em nível nacional impossível em alguns casos. Em avaliação realizada em 2009, foi verificada a ausência de monitoramento em 9 estados (50% do território nacional), baixa densidade de pontos de monitoramento, falta de divulgação das informações e falta de sustentabilidade financeira para garantir a continuidade do monitoramento (ANA, 2009). A meta proposta em ANA, (2009) era adicionar 2380 pontos de monitoramento aos 2167 pontos existentes.

3.3 EVOLUÇÃO HISTÓRICA

O objetivo dessa seção é retomar alguns pontos importantes com relação à evolução da organização e distribuição territorial das redes brasileiras. Historicamente, a coleta de dados hidrometeorológicos no país ficou a cargo de instituições federais das quais se destacam o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), responsável pelos dados climatológicos, e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), originalmente responsável pela gestão dos dados coletados pelas estações instaladas pelos outorgados de energia.

Esse fato se relaciona com o papel de destaque desempenhado pela hidroeletricidade na oferta de energia que, conforme apresentado por OECD (2015), traz consequências para a gestão da água. O protagonismo histórico do setor elétrico também se reflete na composição das Redes. Esse ponto se relaciona diretamente com as diferenças na densidade da Rede no país, como já mencionado.

Por obrigação decorrente da Resolução Conjunta ANA ANEEL nº 3/2010, os outorgados de energia elétrica são obrigados a instalar estações hidrométricas e encaminhar as informações coletadas em tempo real para o Hidroweb. Em 10 de agosto de 2010 foi publicada a primeira resolução conjunta entre a Agência Nacional de Águas (ANA) e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de número 03/2010. O objetivo desta resolução, que substituiu a Resolução ANEEL nº 396/1998, foi de ampliar o escopo do monitoramento dos recursos hídricos no Brasil, estabelecendo as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários de energia elétrica para instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentológico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos (NECTOUX *et. al.*, 2017).

No entanto, pode-se afirmar que nos últimos anos, como resultando também da nova conjuntura de gestão que a ANA imprimiu ao setor de recursos hídricos, a Rede passou de ter uma distribuição espacial bastante restrita às regiões com potencial hidrelétrico para ter uma distribuição mais voltada para o conhecimento hidrológico das regiões hidrográficas propriamente dito. Isto é, estações passaram a ser instaladas também em locais sujeitos a eventos críticos e com conflito pelo uso da água de forma que, atualmente, a rede brasileira é bastante mais robusta e representativa. A evolução da distribuição espacial das estações hidrometeorológicas é comentada em Siqueira (2015) no que se refere ao uso do dado para Sistema de Alerta de cheias.

Na linha do tempo da evolução da gestão de recursos hídricos no Brasil, a criação da Agência Nacional de Água em 2000 foi um marco (OECD, 2015), mas, particularmente no caso da gestão das redes, a criação da Agência representou uma transformação na forma que os dados são coletados, transmitidos e, sobretudo, divulgados. A tecnologia, portanto, é um tema central para entender a evolução das redes no Brasil. Os equipamentos de telemetria (Plataformas de Coleta de Dados, ou simplesmente PCDs) facilitaram a obtenção de medições em tempo real e também aumentaram a periodicidade dos dados.

Outra inovação importante diz respeito ao acesso aos dados provenientes das redes. O Portal Hidroweb, lançado em 2005, é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos (SNIRH, 2005).

Conforme comentam Hespanhol, I., & Netto, O. D. M. C., (2001), antes do estabelecimento do Hidroweb, um grande problema residia na dificuldade do acesso aos dados, uma vez que havia até cobrança por esta informação. Mais detalhes sobre a plataforma online Hidroweb podem ser encontrados no trabalho de Silva *et. al.* (2013) que discorrem sobre o aplicativo de disponibilização de dados.

No que se refere à gestão da rede hidrometeorológica é possível construir uma linha do tempo com três episódios chave: antes da criação da ANA, após a criação da ANA, mas sem uma mudança de mentalidade da rede (neste período a mentalidade era de preencher os vazios de monitoramento no território) e, após a 2014 até a condição atual, com uma nova mentalidade de otimização e racionalização dos recursos direcionados à rede.

Antes de adentrar ao exame dos principais eventos nessa evolução histórica para o propósito deste trabalho, é importante registrar o valor de todo o esforço envolvido na construção da RHN ao longo da sua história. Como fato histórico de destaque, a base de dados da ANA contém registros desde 1855. Essa longa trajetória da rede e dos profissionais envolvidos no seu desenvolvimento, se sustentam no objetivo de permanente superação dos desafios em prol deste projeto ímpar para o conhecimento da hidrologia no Brasil.

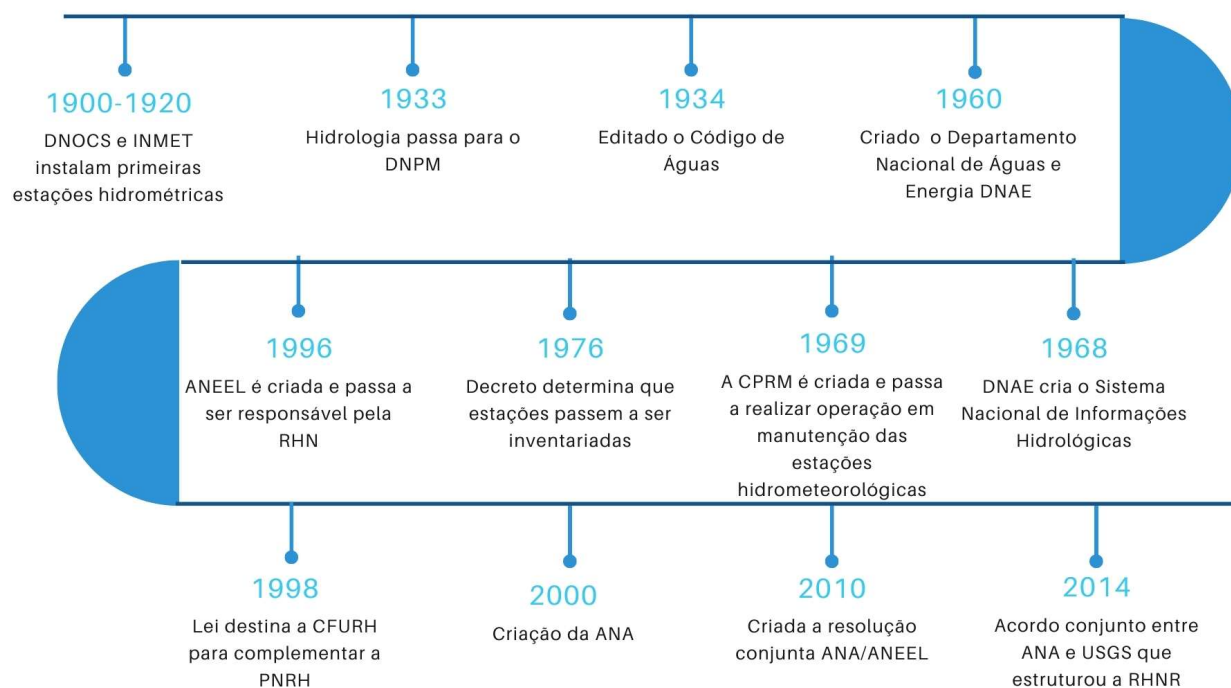


Figura 3 – Linha do tempo da RHN.

Adaptado de: Peixinho *et.al.* (2015)

A linha do tempo apresentada na Figura 3 destaca alguns dos principais momentos na história da RHN. Fica clara, a partir da análise dos eventos marcados na linha do tempo, que a Rede já esteve sob a responsabilidade de diversos órgãos diferentes, desde entidades governamentais vinculadas a obras até mais recentemente à CPRM. Foi só a partir de 2000, com a criação da ANA, que a Rede passou a ser gerenciada por essa agência, no formato atual.

A linha do tempo termina, portanto, no evento chave da assinatura do Acordo de Cooperação Técnica com o USGS. Esse ponto marca uma quebra de paradigma no que se refere à gestão da Rede no sentido de inaugurar uma perspectiva de otimização de recursos da Rede, bem como a busca de um maior embasamento para orientação das políticas de dotação de recursos para a Rede.

Foi a partir deste contrato que a ANA avançou no sentido da validação metodológica da gestão da Rede. Aqui é interessante chamar atenção, também, para o lema da USGS “*Science for a changing world*” que, em tradução livre, significa *Ciência para um mundo em transformação*. Essa é uma importante reflexão uma vez que a Rede é um Projeto dinâmico, envolve o acompanhamento do benefício gerado sua otimização, aperfeiçoando o número de pontos (nem demais nem de menos); seu arranjo; sua precisão; seus recursos; a durabilidade

dos equipamentos; a descentralização da operação até onde possível como uma forma de reduzir custos; a tomada de consciência do valor dessa rede, a ampla divulgação do valor desse benefício em si mesmo e relativamente aos custos.

3.4 A REDE EM NÚMEROS

O Relatório Anual de Gestão (2019), no capítulo que trata das Redes, divide as atividades da seguinte forma: As redes propriamente ditas aparecem como eixos dentro da atividade de Monitoramento Hidrológico e os SNIRH e o SAR aparecem como eixos vinculados aos Sistemas de Informação como indicado na Figura 4.



Figura 4 – Eixos da ANA associados às Redes de Monitoramento.

Adaptado de: ANA (2019)

De forma a apresentar os números mais relevantes com relação a um panorama geral da Rede Hidrometeorológica Nacional, foi elaborado o infográfico apresentado na Figura 5:

AS REDES HIDROMETEOROLÓGICAS NO BRASIL

VISÃO GERAL DE GESTÃO E CUSTOS

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

Um dos instrumentos da PNRH é Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) gerido pela ANA.

À ANA também compete a atividade de Monitoramento Hidrológico feito a partir da RHN e RHNR.



ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

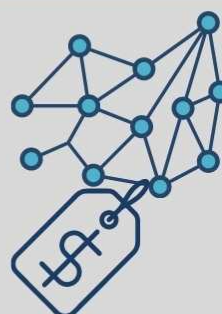
- 21.485 estações cadastradas no SNIRH
- 4.803 estações de competência da ANA (22% do total)
- Outros responsáveis incluem o Setor Elétrico e os Estados.
- 427 estações na RHNR

CUSTO DA REDE

Aproximadamente 53 milhões de reais em 2020 (13% do orçamento da ANA).

- 48.370.872,00 custeio
- 4.365.622,00 investimento

O custo médio anual de um ponto de monitoramento é de 10.500 reais.



GESTÃO DAS REDES EM CAMPO

A CPRM é o principal parceiro da ANA na gestão das Redes.

- 6.939 pontos de monitoramento
- 3.500 observadores (leituristas)
- 200 profissionais de campo

Fonte: Resultados parciais do Sistema de Informação dos Custos da Rede desenvolvido no âmbito do Projeto de Pesquisa de Valoração da Rede

Arte: Marcela Nectoux

Figura 5 – Infográfico RHN..

A principais informações de números podem ser detalhadas da seguinte forma:

- Total de 4.803 estações, das quais 1.908 são automáticas, e cerca de 80% são operadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. O Sistema de Informações Sobre Recursos Hídricos – SNIRH reúne o registro das 23 mil estações hidrometeorológicas existentes no país, entretanto, a ANA coordena a operação pouco mais de 20% dessas estações. As demais são de responsabilidade de outras instituições e setores, por exemplo o setor elétrico, o qual por obrigação decorrente da Resolução Conjunta ANA ANEEL nº 3/2010, encaminha informações de 3.400 estações de monitoramento, sendo 1.450 pluviométricas e 1.950 fluviométricas.
- Para operar essa Rede, a ANA estabelece parceria com diversas instituições sendo a principal delas com a CPRM, que conta com cerca de 200 profissionais em campo que trabalham para a instalação, a manutenção e a coleta de dados nas estações espalhadas em todo território, além de mais de 3.500 observadores hidrológicos que realizam a coleta diária dos dados das estações (Relatório Anual de Gestão, 2018).
- O Hidroweb contabiliza o número de estações como o número de pontos de cada tipo de informação, ou seja, se em um mesmo ponto há dados de precipitação, vazão, e nível, é contabilizado como três pontos. Se contarmos apenas estações que possuem sensor de nível, ou seja, estações fluviométricas, a ANA estima um total de 2600 pontos apenas.
- De acordo com os dados apresentados no Relatório Anual de Resultados Da Gestão (2020), a operação da RHN e RNHR, custeada pelo orçamento da ANA, representa R\$52 milhões ao ano.

3.5 LEGISLAÇÃO ATINENTE À AQUISIÇÃO E ACESSO AOS DADOS

O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é definido na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/97) como sendo um sistema de “coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.” De acordo com a citada Lei, os dados e informações gerados pelos órgãos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos serão incorporados SNIRH.

A questão também é abordada nos princípios básicos para o funcionamento do SNIRH, definidos na mesma lei: “A descentralização da obtenção e produção de dados e informações, a coordenação unificada do sistema, e o acesso aos dados e informações garantidos a toda a

sociedade.” O Art. 27 da mesma lei define os objetivos do SNIRH, que são: I - reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil; II - atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo o território nacional; e III - fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), órgão máximo do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), por meio da Resolução CNRH nº 13, de 25 de setembro de 2000, definiu as diretrizes a serem observadas na implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. A referida resolução estabelece, em seu artigo 1º, letra a que caberá à ANA a disponibilização a toda a sociedade informações referentes à rede hidrométrica nacional.

É importante ressaltar, no entanto que, apesar da titularidade da ANA na responsabilidade por gerir o banco de dados proveniente das redes, de acordo com a Lei 9433/97, todos os entes integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos têm que estar inseridos no Sistema de Informações, ou seja, não apenas as estações geridas pela ANA estão contidas no Hidroweb.

3.6 INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS

Uma das questões que traz certa complexidade à gestão dos dados hidrometeorológicos no Brasil é a diversidade de instituições governamentais que operam ou estão de alguma forma envolvidas com a rede.

De uma maneira geral, pode-se dizer que as duas grandes instituições que gerem as redes são a ANA e a CPRM. No entanto, destaca-se que diversos estados possuem estações ou redes operadas por eles próprios. Muitas dessas redes “locais” são planejadas tendo em vista projetos específicos, condições de outorga e também para monitoramento de cheias/estiagens em áreas de risco como sugerem os trabalhos de Pedrollo *et. al.* (2017) e Pedrollo *et. al.* (2011) que descrevem, a concepção dos sistemas de alerta de cheia das bacias do Uruguai e Caí, respectivamente, operadas pela CPRM.

Outro ator recente que merece destaque é o CEMADEN que possui uma rede de estações telemétricas, chamada de PCDHidro. De acordo com as informações disponíveis no site do CEMADEN a aquisição de 186 PCDs se deu através do Projeto “Desenvolvimento de Sistema de Previsão de Enxurradas, Inundações e Movimentos de Massa em Encostas para Prevenção

de Desastres Naturais”, financiado pelo CNPq, para composição da rede de monitoramento remoto e automático.

O objetivo da estruturação dessa rede de estações, que medem chuva e nível dos rios e tem transmissão via telefonia de celular, foi de somar à rede observacional de radares meteorológicos e pluviômetros automáticos planejada no Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, a qual foi idealizada de forma a permitir a coleta em tempo real das informações necessárias ao monitoramento e alerta de desastres naturais (CEMADEN, 2019).

Embora o Sistema de Informações Sobre Recursos Hídricos reúna o registro das 23 mil estações hidrometeorológicas existentes no país, a ANA coordena a operação de apenas 20% desse montante. As demais são de responsabilidade de outras instituições e setores dos quais destacam-se o setor elétrico (com relação à já mencionada resolução N° 03/2010) e a CPRM que opera cerca de 80% das estações.

Para operar essa Rede, a ANA estabelece parceria com diversas instituições sendo a principal delas com a CPRM, que conta com cerca de 200 profissionais em campo que trabalham para a instalação, a manutenção e a coleta de dados nas estações espalhadas em todo território, além de mais de 3.500 observadores hidrológicos que realizam a coleta diária dos dados das estações (Relatório Anual de Gestão, 2018).

Segundo informações coletadas junto à Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, a CPRM é responsável pela operação e manutenção de cerca de 80% das redes. Essa relação entre as duas instituições se dá mediante um termo de execução descentralizado. O Plano de Trabalho que rege esse termo é revisado anualmente em outubro. Nesta oportunidade são revisados os roteiros propostos pela CPRM e o planejamentos das redes de uma forma geral.

Vale destacar que esse planejamento da CPRM é feito com base nas Superintendências desta empresa, as chamadas Suregs. Portanto, o recorte não é por bacia hidrográfica, uma vez que uma determinada Sureg pode cumprir roteiros em mais de uma bacia. O repasse da ANA para a CPRM em 2020 deve ficar entre 28,5 e 29 milhões de reais. Anualmente é entregue o Relatório Anual de Desempenho referente à atuação da CPRM na gestão das redes.

Com relação à rede de qualidade da água, os estados cumprem um papel essencial com relação ao programa Qualiágua. Os contratos da ANA com os estados vão de 60 mil a 2 milhões

e 100 mil reais, no caso do estado de Minas Gerais. O valor do repasse é calculado em relação ao cumprimento de metas de coleta nos pontos de medição.

Outro parceiro que merece menção é a Defesa Civil. SBMet (2012), ao destacar a importância urgente de uma efetiva estruturação do Sistema Nacional de Meteorologia e Climatologia, enfatizou a necessidade de articulação com o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e com a defesa civil. As Salas de Situação coordenadas pela ANA já utilizam os dados da RHN para o monitoramento e previsão de eventos extremos que, por sua vez, são utilizados pela Defesa Civil para emissão de alertas à população (Giacomelli *et. al.*, 2019). No entanto, há espaço para uma maior integração das redes de monitoramento no sentido de otimização.

3.7 ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO

Como destaca Júnior *et. al.* (2012), há uma nova vertente científica intitulada Economia do Meio Ambiente voltada para o estudo das ferramentas e análises que se prestam a fornecer subsídios para a tomada de decisão dos agentes e gestores que lidam com as questões ambientais. Mais especificamente com relação às redes, segundo a Organização Mundial de Meteorologia, dois dos blocos da teoria de apoio à decisão é a Análise Socioeconômica e a Teoria de Otimização (WMO, 1994).

No âmbito dos objetivos propostos na presente dissertação, uma das linhas de pesquisa bibliográfica foi investigar o potencial da análise custo-benefício de forma aplicada como subsídio para decisões de planejamento de recursos hídricos.

Dentre todos os modelos de análise de políticas pública, e também relacionada à vertente de Economia do Meio Ambiente, a análise custo-benefício é a mais conhecida e possivelmente uma das mais utilizadas para avaliar programas que envolvam gastos públicos em situações excludentes (STOKEY e ZECKHAUSER, 1978). Carvalho (2005), define que esta ferramenta utiliza uma enumeração sistemática de todos os benefícios e custos, tangíveis ou intangíveis, facilmente quantificáveis ou não, que irão afetar todos os membros da sociedade se um projeto em particular for adotado.

Apesar de não existir vasta literatura que discorra a respeito da análise custo-benefício aplicada especificamente ao planejamento de redes hidrometeorológicas, estudos com outros focos também permitem análises que são pertinentes para o tema em discussão. O estudo de Kadom *et. al.* (2019), por exemplo, elaborou um gráfico que plota efetividade incremental com custo incremental no uso de uma tecnologia de saúde hipotética.

Muito embora este estudo tenha sido feito com o objetivo de verificar o uso da ACB para a área de radiologia, o princípio que rege a interpretação dos resultados é o mesmo que para o presente trabalho: analisar o uso da ACB como base para tomada de decisão em termos de quais projetos ou soluções devem ser financiadas. As conclusões do estudo reafirmam a posição deste tipo de análise como sendo um método robusto e focado em dados que auxilia a tomada de decisão.

A bibliografia também apresenta esforços no sentido de uma análise qualitativa das redes de monitoramento. Foi o caso do trabalho de Santos, Vespucci & Bayer (2016) que se propôs a elaborar um índice de qualidade dos dados da rede de estações fluviométricas do estado de Goiás com base na base de dados do Hidroweb. O índice teve como parâmetros centrais a periodicidade dos dados coletados. A continuidade destes dados, ou seja, a quantidade de interrupções da sua coleta e, por fim, a sua atualidade com objetivo de garantir que os dados se encontram atualizados. A conclusão de Santos, Vespucci & Bayer (2016) foi a de que 66,37% das estações do estado (total de 413) foram classificadas como insatisfatórias por não fornecerem séries longas, contínuas e atualizadas. O artigo destaca que esta condição de rede fluviométrica predominantemente insatisfatória é prejudicial às ações de planejamento de recursos hídricos.

Mas talvez o estudo mais abrangente e interessante para os objetivos propostos na presente dissertação seja o de Jeuland *et. al.* (2019). O referido artigo apresenta os resultados de uma revisão sistemática de 381 estudos entre 1973 e 2016 com o objetivo de avaliar quais métodos foram utilizados no que diz respeito à avaliação econômica de sistemas de informação hidrológica. O artigo identificou que apenas 39% dos artigos revisados apresentavam discussões com base em análises custo-benefício. Jeuland *et. al.* (2019) argumenta com base nesse resultado que a ausência de estudos com fundamentação econômica os tomadores de decisão tendem a apresentar maiores restrições na ampliação dos investimentos em sistemas de informação hidrológica e que, portanto, é importante que a valoração econômica passe a ser priorizada em estudos que avaliam tais sistemas, de forma a informar a tomada de decisão e qualificar os sistemas.

Outro conceito importante, válido de ser mencionado, segundo Anderson *et. al.* (2015) é o custo de oportunidade, isto é, a ideia de que a escolha de uso de recursos necessariamente é feita em detrimento ou ao menos em restrição a outro. Isso se dá em função do ambiente de escassez de recursos que são conhecidas na atualidade do nosso ambiente fiscal brasileiro. Uma das conclusões apresentadas em Anderson *et. al.* (2015) é de que vale a pena investir num

melhor entendimento de onde investir, o que dialoga diretamente com os objetivos da presente dissertação.

3.8 APLICAÇÃO DA ACB NA ORIENTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Além da investigação da ferramenta de ACB em si, também foi explorada a literatura que relaciona a aplicação dos resultados da análise na orientação de políticas públicas, como é o caso em questão, no planejamento das redes uma vez que a gestão das redes é responsabilidade da Agência Nacional de Águas.

Segundo Schulze (1994), os métodos econômicos de análise econômica foram originalmente utilizados nos Estados Unidos para estudos de infraestrutura hídrica federal, mas, desde a década de 90, vem sendo aplicado de forma mais abrangente, servindo como instrumento para análise de diversas questões relacionadas às políticas ambientais. O autor atribui este fato à capacidade da ACB de destilar um grande volume de informação em sínteses mais palatáveis para o tomador de decisão.

Schulze (1994) também destaca em sua revisão a respeito do uso de ACB em políticas ambientais, que os técnicos não necessariamente farão as escolhas corretas, mas que há uma maior probabilidade de sucesso relacionada às políticas sustentadas em métodos de análise cuidadosos do que com o uso de pesquisas em que não há o objetivo de se encontrar a resposta certa, mas sim, apenas uma resposta média.

Os comentários de Schulze encontram eco no artigo de Wiener (1993) que traz no seu artigo o dado de que o Departamento de Proteção Ambiental (EPA, sigla em inglês) estabeleceu em seu regulamento, em 1993, que qualquer análise de regulação proposta deveria ser embasada por estudos de custo-benefício que justifiquem os custos das referidas regulações. Wiener ainda complementa que as análises de risco fornecem aos cidadãos e aos representantes eleitos informação para elencarem escolhas e determinarem prioridades.

Anderson *et. al.* (2015) reúne ACB de diversos países como Finlândia, Nepal e Suíça em que a conclusão chave é a de que os benefícios dos serviços de hidrometeorologia são significativamente maiores do que os custos e esse tipo de análise representa um papel importante em auxiliar as instituições que gerem esse tipo de rede de informações a sustentar aumento de investimentos nesses serviços ou a sua manutenção.

Um dos pontos colocados por Anderson *et. al.* (2015) no que diz respeito a uma definição de benefício é a tomada de decisão realizada com base, ao menos em parte, nos dados hidrometeorológicos disponíveis. Portanto, essa é uma das premissas sob a qual esse trabalho

se sustenta. O benefício de uma rede de dados hidrometeorológicos pode ser definido ao menos em parte na qualidade de suporte à tomada de decisão que essa Rede possibilita.

A ACB é especialmente importante em um cenário de recursos escassos, como é o caso na aplicação proposta na presente dissertação. Como apresentado, muitas vezes essa análise é realizada com base em dados de projetos já maduros, e não na orientação de projetos no momento de sua concepção. Anderson *et. al.* (2015), comenta justamente que a perspectiva é crucial para uma análise custo benefício. A melhor informação dos benefícios econômicos das Redes pode informar a tomada de decisão de duas formas: primeiro identificar quais são as melhores escolhas para o futuro e em segundo justificar as escolhas do passado. Essa colocação é especialmente relevante no contexto da presente dissertação uma vez que a Rede é um projeto antigo que foi evoluindo ao longo dos anos com os avanços tecnológicos e com a conjuntura institucional brasileira.

Por fim, cabe destacar uma diferenciação importante para os objetivos deste trabalho. A distinção entre o valor da rede e o custo da Rede. Isto é, o custo é o que foi inventariado segundo a metodologia proposta, e tem referência o momento atual. Já o valor da rede está associado aos benefícios gerados a partir dos dados da Rede e se estende no futuro, já que os benefícios não estão restritos no momento atual.

Essa dificuldade de dissociar os dois conceitos para poder compará-los é de certo modo uma limitação desse trabalho. No entanto, uma tentativa de enfrentar essa dificuldade é o teste de séries longas e curtas, para que seja possível investigar o benefício ao longo do tempo.

3.9 ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO PARA REDES DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO

A lacuna central que motiva os objetivos e desenvolvimento do presente trabalho é a de que, embora a importância das redes de monitoramento hidrometeorológico seja abrangente e significativa, amplamente apoiada pela literatura, o valor econômico e os benefícios produzidos pela rede ainda são pouco conhecidos no Brasil.

Muitos estudos podem ser encontrados que objetivaram avaliar a distribuição dos pontos de monitoramento em diferentes bacias e a qualidade de sua representação com vistas a sugerir pontos de instalação de novos equipamentos. Aqui se podem destacar os trabalhos de Melati & Marcuzzo (2015) e Neto *et. al.* (2008) com um estudo sobre a limitação de dados na bacia amazônica; Chaib *et. al.* (2013) que avaliaram a distribuição espacial da rede de pluviômetros da ANA/CPRM na Bacia do Rio das Velhas, em Minas Gerais, e Galvão & Meneses (2005)

que geraram um mapa de localização de estações na bacia do São Francisco como um produto estratégico.

Em uma aplicação mais voltada à otimização, Acosta (2014) estudou a obtenção de conhecimentos hidroclimatológicos a partir de informações hidrometeorológicas com o objetivo de reduzir incertezas sobre indicadores de avaliação de disponibilidade hídrica para a geração de energia no alto São Francisco, em benefício da gestão dos recursos hídricos. O autor concluiu recomendando à ANEEL a promoção de pesquisa para melhoria no conhecimento da distribuição temporal e espacial da chuva diária no país, a qual irá beneficiar o planejamento e gestão dos recursos hídricos, em especial envolvendo o setor hidrelétrico.

No entanto, de forma geral, esses trabalhos não levam em consideração uma análise de custo-benefício propriamente dita, com avaliação da demanda pelo dado e o custo incremental associado à instalação de estações de monitoramento. Se limitam, apenas, a avaliar se a distribuição da rede na área de estudo atende determinado objetivo de pesquisa conforme corroborado por Leite (2008), que apontou a carência de registros e casos que comprovem o valor das informações produzidas a partir da rede nacional, tanto para a sociedade em geral quanto para setores específicos da economia.

Estudos e pesquisas que destacam o escopo de aplicação o valor dos dados e informação hidrometeorológicos e de qualidade da água ainda são poucos no Brasil. Exemplos como Leite (2008) estudam a gestão do valor da informação hidrometeorológica com enfoque em alertas de inundação. Outros, a exemplo de Almeida (2013) e Soares (2001) enfocaram critérios para o estabelecimento de redes de monitoramento de qualidade da água, empregando métodos como entropia, buscando otimizar a quantidade de informação produzida e reduzir os custos.

Jeuland *et. al.* (2019), com base nos resultados de uma revisão sistemática apresenta resultados que demonstram que documentos que evidenciam os benefícios da manutenção do que os autores chamam de sistema de informação hidrológico ainda é escassa e que essa lacuna de evidência na literatura prejudica a capacidade dos tomadores de decisão de justificarem os investimentos nesse tipo de projeto. O artigo em tela ainda vai mais além e afirma que o déficit mais expressivo na literatura é de fato a medição dos benefícios propostos nos sistemas de informação hidrológico comparado aos custos, ou seja, os autores afirmam que a monetização em estudos desse tipo é especialmente rara.

Em todo o contexto apresentado, destacam-se dois elementos importantes. O primeiro é a necessidade de não apenas evitar o declínio das redes de monitoramento, mas também

melhorar a sua qualidade, especialmente em regiões onde a informação é mais crítica ou a cobertura ainda é deficiente. O segundo é demonstrar de forma clara que o conhecimento sobre a importância, o emprego e especialmente o valor da Rede Hidrometeorológica Nacional e a Rede Nacional de Qualidade da Água é fundamental para comunicar à sociedade brasileira, e aos tomadores de decisão, a necessidade da sua manutenção e aperfeiçoamento.

Nas discussões realizadas com a Agência Nacional de Águas prévias ao desenvolvimento do presente trabalho e que originaram a proposta de Projeto de Pesquisa aceito posteriormente pelo CNPQ, umas das questões que foram colocadas pelos gestores responsáveis à época foi que não havia na ANA até então argumentos ou análises documentadas que apoiassem as decisões relacionadas à gestão da Rede.

O Banco Mundial já colocava no sumário executivo de um documento robusto sobre valoração econômica dos sistemas de informações hidrometeorológicas que os institutos e organizações que trabalham com esse tipo de dados podem ser demandados da demonstração dos benefícios que os seus serviços representam frente os custos envolvidos na sua produção e divulgação (ANDERSON *et. al.*, 2015).

Aqui cabe ressaltar o porquê de se optar por realizar uma análise custo benefício, uma vez que se trata de uma ferramenta prática. Retomando alguns conceitos explorados até este ponto da Revisão, uma das lacunas identificadas a respeito da gestão das Redes foi, precisamente, a falta de instrumentos formais de suporte à tomada de decisão. Isto é, apoiar com documentos formais as estratégias de otimização da RHN para além de avaliações empíricas a respeito do retorno dos investimentos nas Redes. Dessa forma a análise custo benefício, como foi sustentado pela bibliografia apresentada no item 3.8, se propõe a preencher essa lacuna.

Também é importante comentar que a melhor informação acerca dos benefícios econômicos das Redes informa a tomada de decisão sobretudo de duas formas:

- Sustentar melhores escolhas para o futuro;
- Justificar escolhas do passado.

Nesse sentido, o presente trabalho, por sustentar-se na configuração atual da Rede, inserido nesse segundo objetivo.

Por fim, vale destacar que o aspecto econômico é avaliado, no caso da gestão da RHN, em conjunto com a revisão dos pontos de monitoramento. Portanto, o desenho final da Rede assim configurada resulta de decisões multicriteriais.

3.10 CADEIAS CAUSAIS

De forma a contribuir para o processo de ACB proposto no presente trabalho, o uso de Cadeias Causais foi escolhido como uma ferramenta para coordenar os processos entre a coleta do dado hidrometeorológico e os processos envolvidos ao longo do uso e trabalho desse dado.

A característica da cadeia causal é analisar o grupo. Segundo MARQUES (2002), a cadeia causal é constituída de uma série de afirmativas que ligam as diferentes causas de um dado problema aos seus efeitos e tem sido utilizada de forma sistemática para diagnóstico das causas responsáveis pela perda da biodiversidade. A cadeia causal é basicamente construída por meio de sucessivas respostas à questão "Por quê?" Ou "Qual é a Causa?".

Antes de explorar mais a bibliografia no que diz respeito à aplicação de cadeias causais para o propósito específico da presente dissertação, é importante agregar uma consideração. Na literatura estrangeira, notadamente a literatura disponível em inglês, é muito frequente artigos sobre value chains (cadeia de valor em tradução livre). Pela definição de KAPLINSKY & MORRIS (2000):

“A cadeia de valor descreve o espectro total de atividades requeridas para criar um produto ou serviço, da sua concepção, passando pelas diferentes fases de produção, distribuição para o consumidor final, e disposição final após o uso”

No entanto, a definição de cadeias de valor não se adapta precisamente aos fins desse estudo, uma vez que a cadeia de valor já traz nas suas conexões o incremento quantitativo de valor. Portanto o referencial aqui descrito se limitou ao estudo dos artigos que tratam de cadeias causais em específico.

O uso de cadeias causais de forma aplicada para avaliação de redes hidrometeorológicas é bastante limitada. No entanto, o trabalho de Júnior e Koide (2007), que revisou diversas metodologias de avaliação de redes hidrometeorológicas, apresenta a análise do trabalho de Belz e Engel (2003), que revisaram o procedimento utilizado pelo governo alemão no que diz respeito ao uso dos dados hidrometeorológicos.

A partir dessa revisão, Júnior e Koide (2007) montaram o esquema apresentado na Figura 6, construído em razão das demandas do governo alemão visando a otimização de custos e buscando identificar a importância das estações para a gestão de recursos hídricos.



Figura 6 – Cadeia de usos das informações provenientes da rede hidrometeorológica

Adaptado de: Júnior e Koide (2007).

O método alemão parte desse mapeamento das informações produzidas para então classificar as estações em dois grupos: sendo o grupo "A" uma estação com importância destacada e o grupo "B" uma estação com importância específica Figura 7.



Figura 7 – Diagrama de avaliação das estações.

Adaptado de: Júnior e Koide (2007).

A aplicação dessa metodologia teve foco na identificação da importância das estações para geração das informações hidrológicas e para a gestão de recursos hídricos na Alemanha. Esse método encontra paralelo no programa da ANA de gerenciamento de uma Rede Nacional de Referência, detalhado na seção de Perspectiva dos Custos, item 5.2.

Por fim, a literatura também nos traz o exemplo do uso das cadeias causais como ferramenta para análise da gestão de recursos hídricos na Paraíba por Da Silva (2017). Como resultado desse estudo, foi possível afirmar que as cadeias causais se mostraram como uma

Decisão	Tipologia do dado e informação							
	Oferta Hídrica				Demanda Hídrica			
	Amosférico	Superficial	Subterrâneo	Oceânico	Agricultura	Industrial	Doméstico	Ambiental
Produção de alimentos								
Proteção contra cheia								
Seguro								
Planejamento de armazenamento de água								
Resiliência climática								
Qualidade da água para saúde humana								
Qualidade da água para saúde de ecossistemas								
Tratamento de efluentes								
Projeto de infraestrutura								

Xu *et. al.* (2017) afirma que os dados hidrometeorológicos são necessários no que se refere à obtenção de dados pontuais e médias espaciais, quantificando a variabilidade espacial das variáveis hidrometeorológicas. O autor ressalta também que esses dados são fundamentais para a calibração e verificação de modelos hidrometeorológicos.

Aqui é interessante estabelecer um paralelo com a realidade do Brasil. Como já comentado anteriormente no presente trabalho, no caso do Brasil, a maior parte das instituições que operam radares e rodam modelos de previsão e que usam dados hidrometeorológicos fazem parte do SINGRH, ou seja, o dado gerado pela rede alimenta o próprio mecanismo de gestão. Um exemplo recente é o das Salas de Situação que, desde 2013, operam em cada um dos estados brasileiros com o objetivo de monitorar a condição hidrológica e realizar previsão de eventos hidrológicos críticos a partir dos dados das estações das redes (GIACOMELLI, 2019).

Xu *et. al.* (2017) ainda comenta sobre os principais usos dos dados coletados pelas redes. O autor destaca as áreas de: planejamento; tomada de decisão; gestão e operação de sistemas de recursos hídricos, incluindo projetos de barragens e reservatórios, previsão de cheia, análise de risco de recursos de água doce regionais, alocação de água e desenvolvimento de sistemas

de distribuição de água. O autor ainda afirma que uma rede planejada de modo otimizado deve fornecer informação suficiente para os usos citados.

Mishra and Coulibay (2009) também comentam que há questões que imprimem tensão no desenho das redes como aumento nos conflitos de demanda hídrica, assim como as mudanças climáticas. Dessa forma se faz necessária à quantificação dos benefícios de longo prazo e da influência da densidade das redes na precisão de modelos hidrológicos. É, portanto, desejável que o planejamento das redes leve em consideração seus vários usuários e aplicações.

Segundo Santos, Vespucci & Bayer (2016) os dados hidrometeorológicos são fundamentais para fins de diagnóstico e prognóstico para atividades das quais o artigo destaca:

- Planejamento de uso de recursos hídricos;
- Gerenciamento de bacias hidrográficas;
- Previsão de cheias;
- Abastecimento público;
- Abastecimento industrial e agrícola;
- Navegação;
- Transporte;
- Saneamento básico;
- Fins de concessão e outorga;
- Estudos realizados a nível acadêmico;
- Resolução de conflitos pelo uso da água.

A respeito da confiabilidade dos dados hidrometeorológicos Oliveira & Canellas (1999) já destaca sua vital importância para o setor elétrico, já historicamente conhecida, dado o viés de prioridade deste setor no uso de dados hidrometeorológicos no Brasil, como já discutido, mas também comenta sobre sua importância básica na outorga do uso da água e, conseqüentemente, para a implementação de ferramentas de cobrança.

Wagner e Waske (2016) comentam sobre a importância de dados hidrológicos distribuídos espacialmente para modelagem de alteração no uso do solo. A conclusão do seu estudo sugere que, quando as variáveis hidrológicas são incluídas, a acurácia dos modelos regressivos logísticos aumenta.

Estudos mais antigos também tentaram correlacionar a qualidade dos dados hidrológicos com precisão de estimativas em modelos hidrológicos como Gupta & Sorooshian (1985) ou modelos computacionais como avaliou Haimes *et. al.* (1979).

Com relação à demanda da ANA, o Relatório de Gestão de 2018 cita como processos subsidiados pelas informações hidrológicas provenientes da Rede: eventos críticos prevenidos e seus impactos minimizados, atualização articulada com políticas e planejamentos dos setores usuários e das instituições relacionadas à gestão dos recursos hídricos, instrumentos implementados de forma integrada na bacia, antes do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos fortalecidos e uso dos recursos hídricos e serviços regulados e fiscalizados.

Nesse contexto, o conhecimento acerca das variáveis hidrológicas e climatológicas é o insumo fundamental para decisões que buscam projetos e soluções mais eficientes, de menor risco e de menores custos para a população beneficiada. Quanto menos se conhece sobre volumes de chuva, vazão e níveis dos rios, quantidade de sedimentos, evaporação e qualidade da água, maiores são as incertezas sobre o desempenho do projeto ou solução técnica, e maiores os riscos. Por outro lado, projetos absorvem maiores riscos adotando maiores coeficientes de segurança e soluções técnicas mais conservadoras, o que invariavelmente resulta em superdimensionamento (maiores custos) e menos oportunidades de uso dos recursos naturais como a água e as planícies de inundação (menores benefícios). A Tabela 2 apresenta diversos exemplos de benefícios associados à coleta, monitoramento e serviços meteorológicos.

Tabela 2 - Benefícios associados à coleta, monitoramento e serviços de informação hidrometeorológica.

Adaptado de: LEVIKANGAS e HAUTAKLA (2009)

<i>Setor</i>	<i>Exemplos de impactos e benefícios</i>	<i>Valor dos benefícios atuais com a informação atual</i>
Transporte rodoviário	Projeto mais eficiente de estruturas de drenagem de rodovias, necessário à sua durabilidade e desempenho.	O patrimônio de vias pavimentadas no Brasil pode chegar a 40 a 50 bilhões de US\$. A falta de um bom sistema de drenagem pode reduzir a vida útil do pavimento em até 70% (Melo e Lacerda, 2016)
Hidroviás e transporte marinho	Operação mais eficiente, redução no consumo de combustível	Manutenção, não calculado Acidentes 14-28 milhões de Euros

<i>Setor</i>	<i>Exemplos de impactos e benefícios</i>	<i>Valor dos benefícios atuais com a informação atual</i>
Transporte ferroviário	Maior acurácia nas tabelas dos trens, economia de tempo dos passageiros e de frete	Tempo 0.3 milhões de Euros
Logística, cadeia de produção	Maior previsibilidade de entregas, redução no custo de estocagem e de riscos (acidentes, danos)	Não calculado
Projeto, construção, gestão de infraestrutura e instalações	Redução no risco locacional (seja por eventos de cheia ou seca); manutenção mais eficiente (locais de trabalho e pátios); projeto otimizado (ex: cota de pontes e outras obras de travessia).	Construção 10 milhões de Euros
Energia (geração)	Otimização na capacidade de produção; maior eficiência na integração com a geração renovável intermitente (eólica solar); maior eficiência na gestão dos estoques de energia (águas armazenadas e combustíveis); redução no risco de custos emergenciais na operação de geração térmica por escassez de água para resfriamento	Gestão de instalações 5 milhões de Euros
Recursos hídricos	Melhor conhecimento sobre a disponibilidade hídrica, variabilidade e tendências de mudanças futuras, necessário à efetividade de todos os instrumentos de gestão, evitando critérios e diretrizes muito restritivas ou de alto risco; melhor conhecimento sobre os riscos de falhas e desastres por excesso ou falta de água, maior flexibilidade operacional em sistemas complexos, resultando em economia de energia (ex: transposições), redução em perdas e conflitos entre usuários; melhor caracterização dos padrões de qualidade, necessário a programas mais efetivos de PSA (pagamento por serviços ambientais); melhor capacidade de adaptação a cenários futuros (demandas e clima).	
Saneamento	Redução no risco locacional de estações de tratamento; otimização dos processos de tratamento em função	

<i>Setor</i>	<i>Exemplos de impactos e benefícios</i>	<i>Valor dos benefícios atuais com a informação atual</i>
Meio Ambiente	do melhor conhecimento sobre as vazões e a qualidade dos mananciais (economia de produtos químicos); otimização no projeto de estruturas e instalações hidráulicas diversas (economia de materiais e energia). Melhor conhecimento sobre regimes naturais de vazões e correlação com funções ecossistêmicas, necessários à definição de metas e tecnologias mais adequadas em programas e projetos de recuperação e conservação	
Energia (distribuição)	Melhor capacidade de prevenção de danos e interrupções de distribuição	Prevenção de interrupções 2 milhões
Agricultura	Redução dos riscos e danos para a colheita, controle de pragas, otimização do calendário de plantio, rega e colheita. Otimização da operação do sistema de irrigação com economia de água e energia, otimização no projeto de estruturas e sistemas hidráulicos de captação e distribuição de água.	Previsão de produção 3 milhões de Euros Produção de turfa 5 milhões de Euros Culturas aumentadas 12 milhões de Euros Danos às culturas 12 milhões de Euros Cultivos mais eficientes 8 milhões de Euros Outros benefícios 2 milhões de Euros

A combinação do amplo emprego dos dados hidrometeorológicos com a importância das decisões que dependem dos mesmos atribui um valor significativo a todos os processos, infraestrutura e serviços associados à coleta, processamento e monitoramento de variáveis hidrometeorológicas e de qualidade da água. Tal infraestrutura constitui a espinha dorsal de todo o processo decisório de uso de recursos naturais e produção pela sociedade.

Não obstante essa realidade, a percepção de cientistas, industriais e tomadores de decisão aponta para um cenário mundial onde a necessidade cada vez maior por projetos mais

eficientes e eficazes (que demandam dados de melhor qualidade) contrasta com redes de monitoramento ainda limitadas por falta de investimentos, manutenção e expansão (CHO *et. al.*, 2017).

Em Aquatics Informatics (2015), uma pesquisa envolvendo mais de 700 profissionais do setor de recursos hídricos (hidrólogos, engenheiros, gestores de empresas de abastecimento) reportou que 72% dos entrevistados apontaram a necessidade de mais dados de monitoramento para atingir as metas propostas. Outros estudos acadêmicos citados em CHO *et. al.* (2017), (Fekete e Robarts, 2015;). Gleick *et. al.*, 2013; Fekete *et. al.*, 2012) corroboram essa percepção, indicando ainda uma preocupante redução na rede de monitoramento a nível mundial. Uma avaliação realizada sobre a lacuna de dados presente no Global Runoff Database (mantido pelo Global Runoff Discharge Center das Nações Unidas) e também no online Climate Data Library (mantido pelo International Research Institute on Climate and Society) apontam para um declínio no número de estações ativas (Figura 8) após um pico no número de estações entre 1980 e 1985.

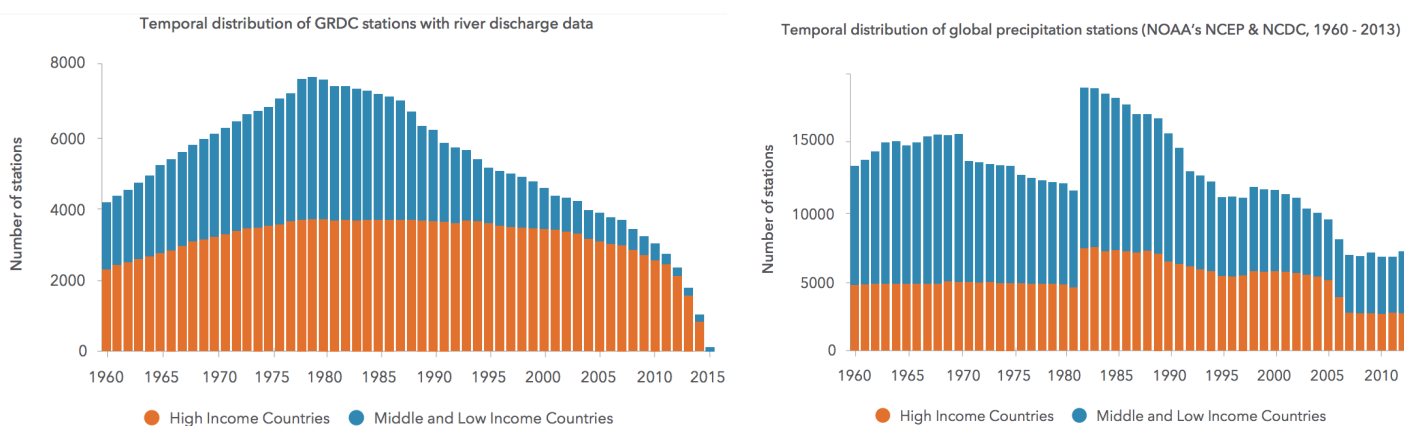


Figura 8 – Distribuição temporal de Estações fluviométricas e pluviométricas no mundo.

FONTE: CHO *et. al.* (2017)

3.12 INVENTÁRIO DAS REDES HIDROMETEOROLÓGICAS: PERSPECTIVA DOS CUSTOS

O exterior, a importância de redes de coleta de dados e monitoramento hidrometeorológico já é percebida há mais de 100 anos. Bliss (1912), em documento publicado no Monthly Weather Review já chamava a atenção para o fato de que o setor industrial, e todos os negócios envolvidos, dependem dos efeitos de mudanças no tempo e condições climáticas, e que o reconhecimento dessa relação não seria apenas conveniente, mas também decididamente lucrativo. Segundo Bliss (1912), nenhum trabalho de engenharia, em qualquer que seja a etapa

de execução, poderia ser formulado de forma inteligente sem a devida consideração das condições meteorológicas inerentes à área de intervenção.

O valor de qualquer tipo de informação ou dado, segundo Dawdy *et. al.* (1970) deve ser mensurado conforme o seu emprego. Tomando dados de vazão como exemplo, percebe-se dois grandes empregos gerais: (a) fornecer informação geral em nível regional e (b) emprego no desenho e operação de projetos diversos. O fornecimento de informação geral a nível regional tem valor associado à sua transferibilidade (especialmente em rios ainda pouco antropizados e sem barramentos) uma vez que o conhecimento sobre condições naturais pode ser usado junto com dados similares em outros sítios para descrever o comportamento da vazão a nível regional (ex: estudos de regionalização). Já o emprego no desenho e operação de projetos serve às necessidades específicas do projeto (ex: determinação da cota da soleira de um vertedor, capacidade do mesmo ou ainda determinação do volume de espera para proteção contra cheias).

Dawdy *et. al.* (1970) realizaram estudo para medir o efeito do erro amostral em dados de vazão no valor da informação empregada no projeto de um reservatório de acumulação de água multi-uso (abastecimento e regulação de vazões em período de estiagem) e concluíram que é vantajoso economicamente investir na coleta de dados por períodos mais longos (o que reduz o erro amostral e torna o cálculo do tamanho ótimo do reservatório mais acurado) e, mais importante ainda, esse benefício econômico é ainda mais significativo quanto maior for a demanda pela vazão regularizada.

Cloke e Cordery (1993) avaliaram o valor de dados de vazão considerando como esses dados influenciam a escolha do tamanho da capacidade de armazenamento de água em um projeto de infraestrutura hídrica. A capacidade de armazenamento é um dos fatores determinantes nos custos totais de capital em projetos dessa natureza, sendo possível atribuir um custo à incerteza na capacidade de armazenamento necessária: na medida em que a disponibilidade de dados para determinar essa capacidade aumenta, a incerteza diminui, e consequentemente os custos atribuídos à mesma. Essa redução nos custos da incerteza é o valor da quantidade incremental de dados disponíveis (CLOKE e CORDERY, 1993)

Em relação à qualidade da água, Sikorsks *et. al.* (2015) apontam as dificuldades na determinação de sólidos suspensos totais (SST) em mananciais superficiais, que normalmente requerem observações de cargas de sedimentos para calibração dos modelos e sofrem de limitações em sua acurácia. Os autores investigaram como a confiabilidade no cálculo dos SST aumentou com a inclusão de dados de vazão, e verificaram que a inclusão destes no processo

de calibração tornou o cálculo dos SST mais preciso, com ganhos de até 15% em pequenas bacias sem monitoramento.

Em outro exemplo, limitações em dados meteorológicos resultaram em problemas na modelagem de eventos individuais para a avaliação de impactos ambientais de projetos industriais na poluição do ar, particularmente em situações em que maiores níveis de poluição eram esperados (ARCSZEWSKA e McCLATCHEY, 2001). Em avaliação do caso do Instituto Finlandês de Meteorologia, Leviakangas e Hautakla (2009) verificaram que o serviço de informação meteorológico apresenta diversos impactos positivos para a sociedade, resultando em benefícios.

Nos EUA, o National Oceanic and Atmospheric Agency (NOAA) produziu um relatório contabilizando o valor das informações produzidas pelo governo e concluíram que o retorno para a sociedade de investimentos governamentais em dados meteorológicos é muito grande (CALLEN, 2018), chegando a dezenas de bilhões de dólares em valor agregado anual. Segundo Callen (2018), uma pesquisa verificou que a maioria das pessoas consultadas afirmou que acessaram previsões do tempo com uma frequência média de 3,8 vezes por dia, resultando em 301 bilhões de previsões consumidas (utilizadas em um ano).

No mesmo estudo, o valor mediano das previsões do tempo por domicílio foi de \$286/ano, sugerindo um valor total agregado anual da ordem de \$31,5 bilhões, enquanto os gastos do governo federal em operações meteorológicas e pesquisa totalizaram \$3,4 bilhões no mesmo ano, que se somam a outros \$1,7 bilhões gastos pelo setor privado. Trata-se, portanto, de um valor atribuído pelas pessoas ao serviço de previsão que é 6.2 vezes maior que os custos de fornecer o serviço. A avaliação vai ainda, além disso, os investimentos do NOAA na melhoria das previsões de cheias além de salvar vidas, produzem benefícios econômicos significantes 1 hora de avanço na previsão de um furacão ou enchente podem levar a uma redução de 10% nos danos.

De acordo com EASPE (2002), nos EUA, os benefícios econômicos de se otimizar a operação dos reservatórios e melhorar a resposta a eventos de cheia de curta e longa duração resultam em uma economia potencial de \$1,62 bilhões/ano. Se previsões hidrológicas de longa duração permitir ainda o uso otimizado dos recursos hídricos para geração hidrelétrica, irrigação, navegação e abastecimento também, uma economia adicional de \$766 milhões/ano pode ser produzida, segundo estimativas consideradas conservadoras em EASPE (2002).

CHO *et. al.* (2017) apontam, em uma revisão recente, que a produção de informação hidrológica é um investimento que produz um retorno de 4 para 1 considerando benefícios diretos e indiretos para os setores público e privado. Gardner *et. al.* (2017) realizou uma extensa pesquisa incluindo diversos estudos envolvendo informação sobre a quantidade da água (dados hidrometeorológicos sobre precipitação, vazão e previsão hidrológica) e calculou a razão custo-benefício para setores.

No Brasil, as informações e dados sobre variáveis hidrológicas fazem parte de políticas abrangentes no cenário nacional, a exemplo da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que tem como instrumento de gestão o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), ou ainda o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, que prevê uma rede de observação. Entretanto, a sua importância vai além da gestão dos recursos hídricos e proteção contra desastres, alcançando um amplo universo de decisões operacionais (por exemplo, o despacho hidrotérmico no sistema interligado nacional), além de projetos, investimentos e soluções técnicas associadas ao uso do espaço e dos recursos naturais pela sociedade.

Leite (2008), realizou um estudo específico sobre o valor da informação de alerta de inundações, analisando os efeitos, nesse valor, da incorporação de incertezas em processos decisórios e melhorias nas previsões. A análise das relações entre qualidade e valor do alerta de inundações empregou simulações de modelos autoregressivos (ARIMA) e filtro de Kalman, revelando a existência de oportunidade agregar valor à informação adotando-se uma estratégia probabilística no lugar de uma determinística para a emissão de alerta e decisão sobre ações de proteção. O estudo identificou ainda a existência de uma região crítica relativa ao horizonte de previsão (entre 18 e 36 horas) na qual uma melhoria na previsão provocou um significativo aumento no valor da informação para a região alvo de estudo (União da Vitória).

Leite (2008) destaca ainda que em usos variados da informação hidrometeorológica identifica-se mais de um valor crítico, a partir do qual o resultado da decisão que faz uso da informação é afetado de forma diferente. Esse aspecto cria descontinuidades no processo decisório, revelando a importância do processamento e disseminação das incertezas das informações hidrometeorológicas, bem como da sua inclusão no processo de tomada de decisão.

Em estudo sobre a importância das informações hidrometeorológicas para reduzir a incerteza na avaliação da disponibilidade hídrica (especialmente distribuição temporal e espacial da chuva diária). Acosta (2013) ressalta que essas informações são substanciais para o despacho hidrotérmico ótimo do sistema interligado nacional (SIN). Um exemplo desse aspecto

ocorreu em 2012, quando a operação do SIN alertou para uma previsão de disponibilidade hídrica (na forma de energia armazenada no sistema) acima do que foi de fato verificado. Conforme descrito em PSR (2012), o sistema encontrava-se em janeiro de 2012 com níveis de armazenamento de energia que era o melhor desde 1996. No decorrer do ano de 2012, as aflúências no período seco não foram muito severas, levando a uma previsão de armazenamento ao fim de novembro, feita a partir de simulações, de 55%.

Entretanto, o que se verificou na prática foi um valor real observado de armazenamento igual a 33% (o pior desde 2002). Na prática, segundo aponta PSR (2013), o esvaziamento rápido do sistema reduziu a capacidade de geração hidrelétrica, levando ao aumento na complementação com geração térmica em níveis críticos logo nos primeiros meses de 2013. A persistência da estiagem que se sucedeu na região sudeste, chegando a níveis acentuados em 2014, deixou clara a importância das previsões meteorológicas, especialmente em vista da preocupação com a segurança de suprimento de geração hidrelétrica.

Além da relação direta de valor nos exemplos apresentados, destaca-se o valor indireto resultante do emprego dos dados e informação hidrometeorológica para a efetividade de instrumentos de gestão da água. Assim como enquadramento dos corpos d'água requer monitoramento de qualidade da água, outros instrumentos econômicos, como o Pagamento por Serviços Ambientais, demandam condições ainda diferenciadas de monitoramento, como apontado em FIORE *et. al.* (2017). Instrumentos como o PSA ainda são de aplicação recente no Brasil e têm o potencial de contribuir com flexibilidade e efetividade para a gestão, porém requerem uma rede de monitoramento de qualidade que seja confiável e robusta.

Finalmente, o próprio avanço da ciência e pesquisa sobre o comportamento do meio ambiente e o desenvolvimento de novas tecnologias e soluções necessárias à adaptação e enfrentamento dos desafios futuros também depende dados e informação hidrometeorológicas e de qualidade da água. Sem essas informações, especialmente de longos períodos observados, o desenvolvimento e calibração de novos modelos, bem como o aperfeiçoamento dos existentes, ficam limitados.

Oliveira & Canellas (1999) avaliaram o custo de implantação e manutenção da equipe de hidrometria para um período de cinco anos bem como os equipamentos e insumos mínimos necessários para este fim. O objeto de estudo do referido artigo foi a FURNAS Centrais Elétricas S.A. sobre uma área de 276.200 Km² distribuídos nas bacias dos rios Tocantins, Paraíba do Sul, Paranaíba, Corumbá e Grande. Uma conclusão bastante importante do estudo é a identificação da equipe de hidrometria que atende a rede como um dos fatores mais

importantes para o sucesso na operação. Os custos obtidos no referido estudo foram os seguintes:

- Custos de Investimentos em Equipamentos a nível mensal: 3.905,00
- Custo Mensal de uma equipe de hidrometria de campo 10.945,00

A CPRM, em uma viagem aos Estados Unidos para a USGS para a realização de um workshop cita como umas das conclusões oportunizadas pela experiência a necessidade otimização das redes. O relatório da viagem comenta que uma vez que as redes americanas são em parte relevantes financiadas por agentes externos, os dados coletados pela rede devem servir a estas entidades e uma relação custo-benefício deve apropriada. Neste ponto é interessante ressaltar que o próprio relatório parece traduzir esta diretriz de otimização no conceito da Rede Nacional de Referência, citada nas recomendações propostas em decorrência da missão.

É possível estabelecer, a partir dessa referência e também pela atual organização da ANA, que a grande medida de otimização em curso no momento é o projeto da Rede de Referência. Ressalva-se, no entanto, que não é objetivo do presente trabalho discutir se esse projeto é ou não uma medida de otimização, mas sim em avaliá-la como uma metodologia de gestão de toda a RHN.

A Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência – RNHR foi criada após três anos de estudos, no contexto de um Acordo de Cooperação Técnica com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Projetada para conter 2.235 estações hidrometeorológicas operadas em nível de excelência e com tecnologia de última geração, a fim de prover dados confiáveis, representativos e tempestivos, para conhecimento e gestão de recursos hídricos e pesquisa científica. Desse quantitativo previsto, 865 trata-se de pontos já existentes e em operação da RHN, até então operados de forma convencional. Essa rede foi planejada tendo em vista a necessidades de informação hidrológica para o balanço hídrico, a prevenção de eventos hidrológicos extremos, a definição de condições de entrega da água entre estados e países, a avaliação da qualidade da água, a regulação de usos, e avaliação de variações e tendências de longo prazo (acompanhamento de efeitos de mudanças climáticas), entre outras.

Em 2015, foi assinado um Termo de Cooperação Técnica entre a CPRM e USGS que norteou o processo de criação da RNHR bem como os critérios de seleção dos pontos que formariam essa nova rede. A metodologia escolhida foi, a partir da rede de estações convencionais, quais desses pontos atendiam mais de um critério (informação pertinente para

modelos de previsão de vazão e localizado em região de vulnerabilidade à inundações, por exemplo).

A RNHR se propõe a uma qualificação maior tanto na coleta dos dados, estações telemétricas com medições a cada 15 minutos, quanto na sua manutenção. Enquanto uma estação da RHN tem uma periodicidade de manutenção de 4 visitas por ano, a RNHR se propõe a visitar cada estação ao menos 6 vezes ao ano, de forma a garantir a qualidade do dado. Essa qualificação, no entanto, implica custos.

Em um estudo recente apresentado no XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Júnior e Oliveira (2019) estimaram o valor dos dados hidrometeorológicos coletados na rede do estado de Santa Catarina pela Epagri. A premissa na qual o referido artigo se sustenta é a de que o valor dos dados é equivalente ao custo de oportunidade das informações geradas que, por sua vez, estaria diretamente relacionado ao custo para gerar o dado e torná-lo acessível para a sociedade.

Júnior e Oliveira (2019) trazem algumas referências de custos levantados da rede catarinense que são pertinentes para os objetivos desse trabalho:

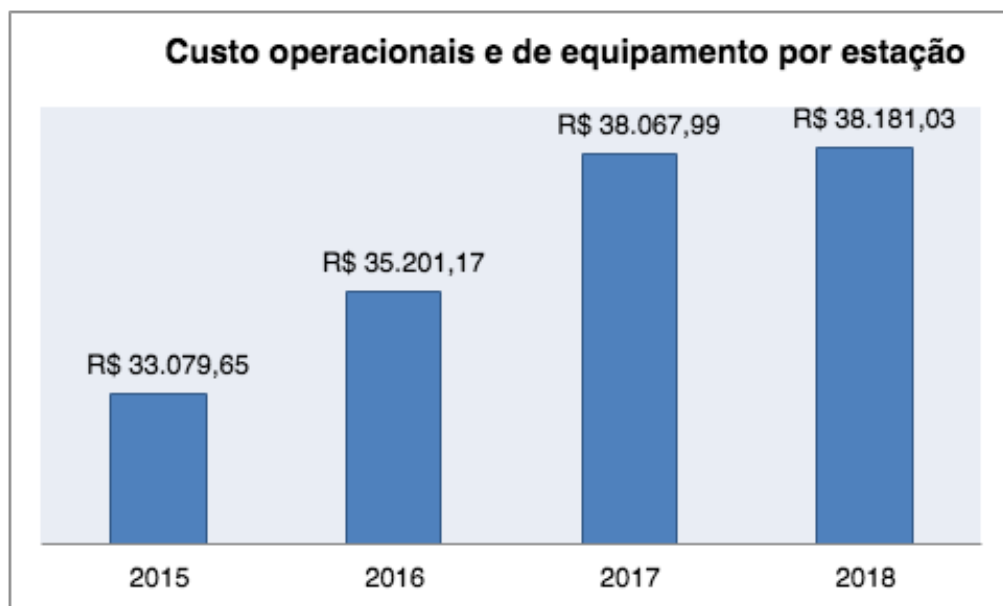


Figura 9 – Custos operacionais e de equipamentos (depreciação) da equipe que executa as atividades de operação e manutenção das 61 estações hidrológicas do Sistema Rios-Online da Epagri SC.

Adaptado de: Júnior e Oliveira (2019)

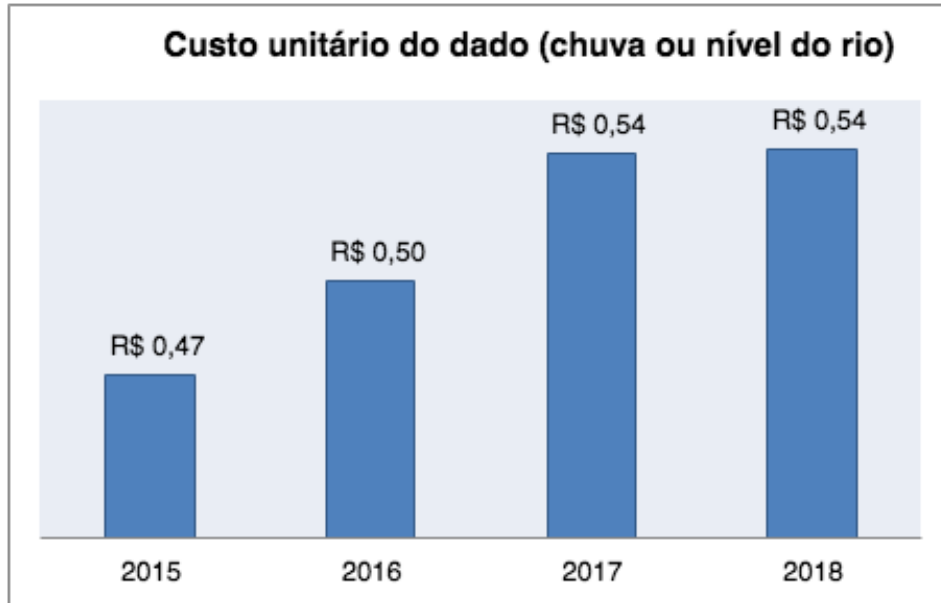


Figura 10 – Custo de cada dado produzido pelas estações hidrológicas do Sistema Rios-Online da Epagri SC, obtido dividindo-se o custo anual de operação e manutenção pelo número de leituras realizada pelas estações.

Adaptado de: Júnior e Oliveira (2019)

Por fim, a partir da revisão apresentada na presente seção, é possível identificar alguns estudos que objetivaram fazer uma análise dos custos associados à operação das Redes, com ou sem um viés de otimização destes recursos. No entanto é clara a lacuna de conhecimento no cenário brasileiro no que se refere a um inventário mais robusto de custos com fins de orientar a tomada de decisão do aporte de recursos nas Redes.

3.13 DEMANDA PELO USO DE DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS NO SEGMENTO DE HIDROENERGIA

Uma das perguntas, que norteiam a metodologia deste trabalho, é de que forma os dados hidrometeorológicos, provenientes da RHN, são processados dentro da cadeia causal de um determinado segmento e como esse dados, agora transformados em informação, apoiam a tomada de decisão e, com isso, agregam valor ao processo.

No entanto, por ser uma pergunta bastante ampla, um dos pontos chave para a pesquisa no escopo do presente trabalho foi determinar quais são das decisões envolvidas no recorte de tipologia selecionado, neste caso, empreendimentos hidroenergéticos, mais especificamente, Pequenas Centrais Hidrelétricas.

O processo utilizado para identificar esse recorte de tipologia bem como a aplicação selecionada para a cenarização que permitiu a estimativa dos benefícios econômicos auferidos a partir dos dados provenientes da Rede será apresentado no capítulo 4. O objetivo desta seção

é, no entanto, apresentar alguns conceitos necessários para a aplicação da metodologia na análise específica do cálculo da garantia física de um projeto de PCH.

3.13.1 Pequenas Centrais Hidrelétricas

Empreendimentos hidro energéticos utilizam a força da água para gerar energia elétrica e atualmente representam 64,9% da matriz elétrica brasileira (EPE, 2020). Isto é, quando se fala em geração de energia elétrica no Brasil, é indispensável considerar a geração das usinas hidrelétricas.

No que se refere à classificação desses empreendimentos, ela é feita com base na potência associada a cada usina, ou seja, a capacidade máxima de geração de energia. A resolução ANEEL 875 de 10 de março de 2020 traz a seguinte definição para as PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas):

Art. 5º Os aproveitamentos hidrelétricos com as seguintes características serão enquadrados como Pequena Central Hidrelétrica (PCH):

I - potência instalada superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW;
e

II - área de reservatório de até 13 km² (treze quilômetros quadrados), excluindo a calha do leito regular do rio.

O processo de concessão de energia para de uma usina de geração hidrelétrica é longo e suas etapas também estão estabelecidas na Resolução supracitada. De modo geral podemos resumir o processo nos seguintes pontos:

- Estudos de Inventário Hidrelétrico: estudos do potencial hidrelétrico de um trecho de rio que se propõe a identificar o conjunto de aproveitamentos ideal para a cascata de usinas.
- Projeto Básico e Sumário Executivo: uma vez identificados os potenciais dos aproveitamentos na fase de Inventário são realizados os estudos detalhados para cada um das usinas da cascata.
- Outorga de Concessão dos aproveitamentos: após aprovados os empreendimentos estão aptos a receberem a outorga de concessão e podem participar de leilões de energia, que serão abordados em maior detalhe no item 3.13.2.

Para o objetivo da presente dissertação, vamos detalhar a etapa “do Projeto Básico e do Sumário Executivo”, Seção VI da Resolução ANEEL 875/2020, que aborda a questão da garanti física, ponto que vamos explorar no item 3.13.3.

Art. 25. A partir da publicação do DRI, o interessado terá o prazo de até 14 (quatorze) meses para elaboração do Projeto Básico.

§ 3o Findo o prazo de que trata o caput, o interessado deverá apresentar na ANEEL o Sumário Executivo, do qual constarão, dentre outras, as informações relacionadas aos aspectos definidores do potencial hidráulico e os parâmetros para o cálculo da garantia física, as correspondentes ART(s) e o arquivo digital contendo o Projeto Básico desenvolvido, conforme orientações disponíveis no sitio da ANEEL na internet. (grifei)

Em resumo, o objetivo desta seção é sustentar a compreensão dos seguintes pontos:

1. O segmento hidro energético tem enorme relevância para matriz elétrica brasileira;
2. O processo de concessão para projetos de geração é regulado pela ANEEL e existe uma classificação segundo a potência dos empreendimentos em que as PCHs figuram como aquelas usinas com geração máxima entre 5MW e 30MW;
3. É na etapa de Projeto Básico e Sumário Executivo que é exigido do empreendedor a memória de cálculo da garantia física da respectiva PCH.

3.13.2 Preço médio de energia

Nesta seção, é importante estabelecer alguns conceitos quanto à lógica da formação do preço da energia no Brasil. O mercado de energia no Brasil é além de complexo, bastante particular, devido a uma matriz predominantemente hídrica e, característica que faz com que os preços no curto prazos sofram uma variabilidade expressiva em resposta a uma hidrologia favorável ou desfavorável.

Esse cenário faz com que o mercado de comercialização de energia no atacado adotada no Brasil seja, como descreve De Castro, *et. al.* (2014), um mercado de contratos no qual é exigido dos agentes consumidores 100% do seu consumo contratado. Note que a garantia física, no modelo de comercialização de energia vigente, é equivalente a um certificado de energia que deve ser contratado compulsoriamente pelos consumidores.

Essa compra de longo prazo de energia se dá no ambiente de um leilão público promovido anualmente pelo governo. Para novos empreendimentos, ou seja, novas plantas hidroelétricas, foco do presente trabalho, o leilão é chamado de Leilão de Energia Nova uma

vez que, nessa modalidade, são firmados contratos de comercialização que fixam o preço da garantia física, com reajustes anuais pela inflação, pelo prazo do contrato que, no cenário de longo prazo, pode ser de 15 a 30 anos (DE CASTRO *ET. AL.*, 2014).

No cenário de Leilão de “Energia Nova” os empreendedores se inscrevem e disputam os contratos que são ganhos por quem ofertar o menor preço de energia. A partir do resultado do leilão, portanto é definido o valor do MW/médio do contrato, atribuído à garantia física.

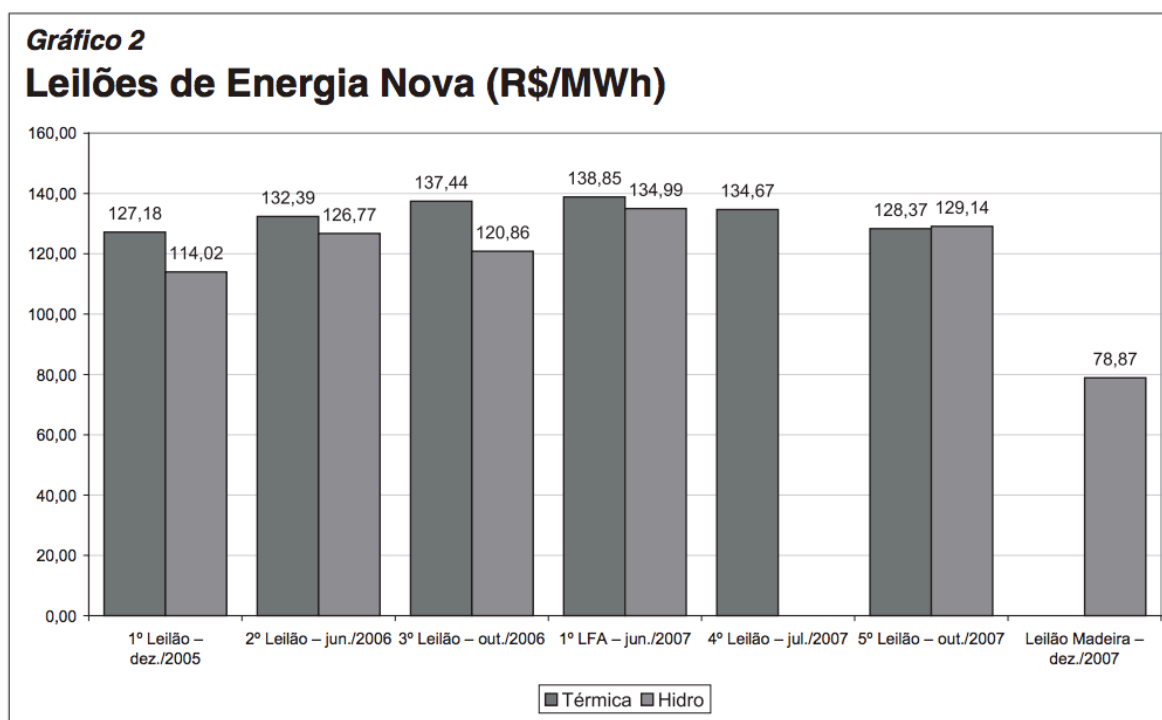


Figura 11 – Ilustração da Garantia física de uma usina versus a sua geração real, mostrando sua independência.

FONTE: Da Costa & Pierobon (2008)

Segundo estudo de Da Costa & Pierobon (2008), publicado pelo BNDES, o preço médio de venda de energia de fonte hídrica, até outubro de 2007, foi de **125 R\$/MWh**. Este será o valor considerado no presente estudo para a análise custo benefício.

3.13.3 Cálculo da Garantia Física

A garantia física é definida pela CCEE como: “a quantidade máxima de energia elétrica associada ao empreendimento, incluindo importação, que poderá ser utilizada para comprovação de atendimento de carga ou comercialização por meio de contratos.” A forma de cálculo da garantia física dos empreendimentos de geração é de responsabilidade do

Ministério de Minas e Energia e o seu valor é estabelecido no contrato de concessão ou ato de autorização (CCEE, 2014).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a garantia física é uma métrica fundamental no Brasil uma vez que é utilizada para dois fins essenciais: definir a quantidade máxima de energia que um empreendimento hidroelétrico pode comercializar, caso do presente estudo, e definir a cota de participação desse equipamento no Mecanismo de Realocação de Energia (MRE).

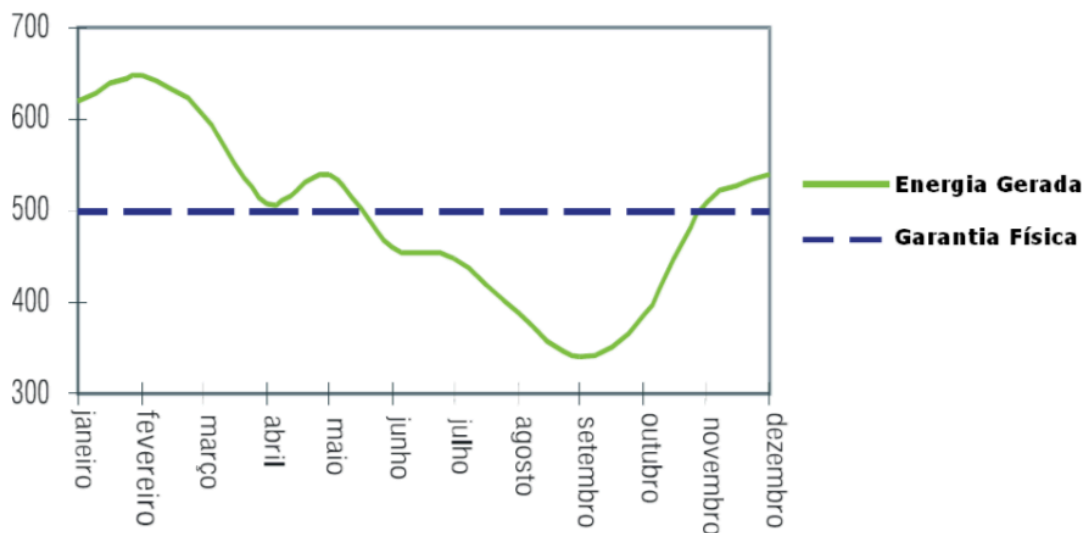


Figura 12 – Ilustração da Garantia física de uma usina versus a sua geração real, mostrando sua independência.

FONTE: CCEE (2012)

No caso das PCHs, objeto da presente aplicação, por não serem usinas despachadas centralizadamente, a garantia física é calculada de forma individualizada por cada empreendedor, tendo como base as características técnicas do projeto básico da usina. Isto é, no caso das PCHs, o cálculo da garantia física faz parte da cadeia decisória do empreendedor já que é ele o responsável por reunir os dados necessários e apresentar a memória do cálculo.

3.13.4 Decisões envolvidas na venda de energia

Por fim, cabe detalhar as decisões envolvidas no processo de uso do dado hidrometeorológico no cálculo da garantia física de PCHs para fins de venda de energia em leilão de Energia Nova.

Como pode ser observado pela análise da equação apresentada no item 3.13.3, é necessário conhecer informações do Projeto Básico do empreendimento para chegar ao valor

de garantia física. Isso significa dizer que se trata de um processo iterativo, isto é, a partir de um valor de garantia física, o tomador de decisão pode escolher retornar à prancheta para redesenhar o projeto se julgar que o valor do “certificado de energia” é insatisfatório frente ao fluxo de caixa do projeto.

A tomada de decisão pode ser resumida em decisões de projeto como:

1. motorização, ou seja, o número e tipo de turbinas da usina;
2. a série de dados utilizada no cálculo da garantia física (reservadas as condições mínimas exigidas na Portaria supracitada).

“Supermotorizar” um empreendimento (aumentar o número de turbinas) pode significar maior potencial de geração para aproveitar momentos de condição hidrológica favorável. Por outro lado, o custo do Projeto aumenta e isso se reflete no fluxo de caixa. Ainda, e mais relevante para o presente trabalho, outra decisão importante é o período da série, já que a depender dos dados históricos hidrológicos, o valor da garantia física se altera, impactando diretamente o valor a ser contratado no Leilão.

Segundo informações da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), a expectativa para o segmento é o crescimento do mercado livre de energia que, que segundo a Câmara deve ocorrer de forma gradual, constante e organizada. Segundo Altieri (2020) os números dos consumidores que migram do Ambiente de Contratação Regulado para o segmento livre bateram recorde em 2020 e deve seguir em crescimento.

A relação desse ambiente de migração no setor da hidroenergia para o mercado livre de compra e venda de energia é que o valor da energia passa a responder ao mercado, sabidamente volátil. Isso potencializa os eventuais ganhos financeiros dos outorgados de energia, mas por outro lado, aumenta o risco do negócio.

4 METODOLOGIA

O fluxograma (Figura 13) apresenta as etapas metodológicas que serviram como base para o desenvolvimento do trabalho, de forma a cumprir com os objetivos da presente dissertação.

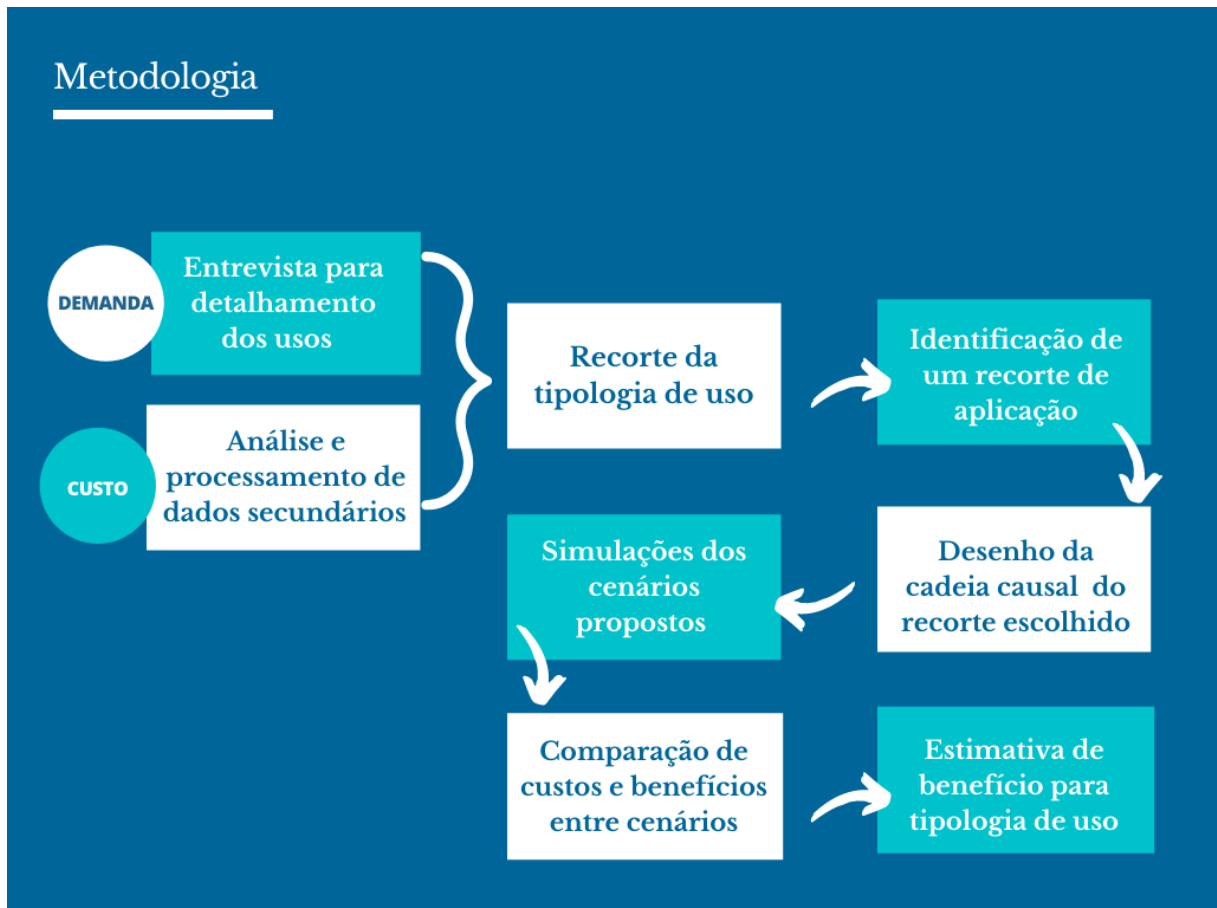


Figura 13 – Fluxograma de etapas da Metodologia.

Tendo em vista que o objetivo geral do trabalho é realizar uma análise custo benefício das informações provenientes da Rede, a metodologia parte de dois pontos paralelos a fim de subsidiar a análise, quais sejam: A perspectiva dos custos, isto é, um inventário do custo de operação da rede para o recorte de aplicação selecionado. E, em paralelo, a perspectiva da demanda, que objetiva identificar quais são as decisões que se apoiam nos dados provenientes da rede.

Duas perguntas orientaram a metodologia, portanto: Quais são as decisões tomadas com base nos dados provenientes da Rede? Quanto custa a disponibilidade de dados da Rede? As respostas para cada uma dessas perguntas serviram para responder a pergunta principal da

presente dissertação: Qual o valor da informação proveniente da Rede para um recorte de aplicação específico?

O ponto chave que orienta a presente metodologia é a identificação do recorte para o qual as decisões e a cadeia causal resultante, são definidas. A partir desta configuração, serão simuladas diferentes decisões a partir de diferentes cenários de disponibilidade de dados, com o respectivo rebatimento nos custos e benefícios decorrentes.

4.1 CUSTO: ANÁLISE E PROCESSAMENTO DE DADOS SECUNDÁRIOS

A metodologia para obtenção dos custos envolvidos nas Redes foi baseada na análise dos dados secundários obtidos através de uma série de documentos e planilhas disponibilizados pela ANA para o propósito do Projeto das Redes.

Além da análise do material obtido da Agência, outro insumo de fundamental importância foram as diversas reuniões realizadas com a equipe de técnicos da ANA sob coordenação do Mateus Monteiro de Abreu, Coordenador da Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, que proveram o contexto e informações acessórias que permitiram uma correta interpretação dos custos contidos no material.

A comunicação com a ANA foi contínua no sentido de participar ativamente da elaboração dos Produtos, fornecendo os dados e informações necessárias e também orientando com relação ao ponto de vista da gestão da Agência, isto é, auxiliando na correta identificação do problema a ser discutido no âmbito do Projeto para que o resultado suprisse as expectativas da ANA.

Outro ponto que merece destaque é que as considerações feitas pelos técnicos da Agência auxiliaram o processo de discussão dos dados obtidos no sentido de realmente construir um banco de dados com relação ao custo da rede e um inventário da rede propriamente dito, um dos objetivos da Pesquisa da qual essa dissertação faz parte.

A informação sobre os custos da rede empregados nesta dissertação foi obtida de inventário realizado em Marques *et. al.* (2021), no qual foi elaborada análise de SIG (Sistema de Informações Geográficas) em que as coordenadas de cada estação foram combinadas para gerar coordenadas de pontos de monitoramento. Estes foram relacionados com os custos de cada um dos contratos geridos pela ANA de forma a obter um inventário de custos na forma de mapas, onde foi possível obter os custos anuais de operação por ponto de monitoramento para diversos recortes: municípios, Estados, região hidrográfica, região geográfica, entre outros.

A partir da metodologia apresentada, foi possível obter os quantitativos de custo médio anual de cada ponto de monitoramento, por região hidrográfica (escolhido entre outros recortes gerados). O detalhamento da metodologia empregada para o inventário de custos da Rede está no Caderno 2 do Projeto de Valoração da Rede, incluído no Apêndice desta dissertação.

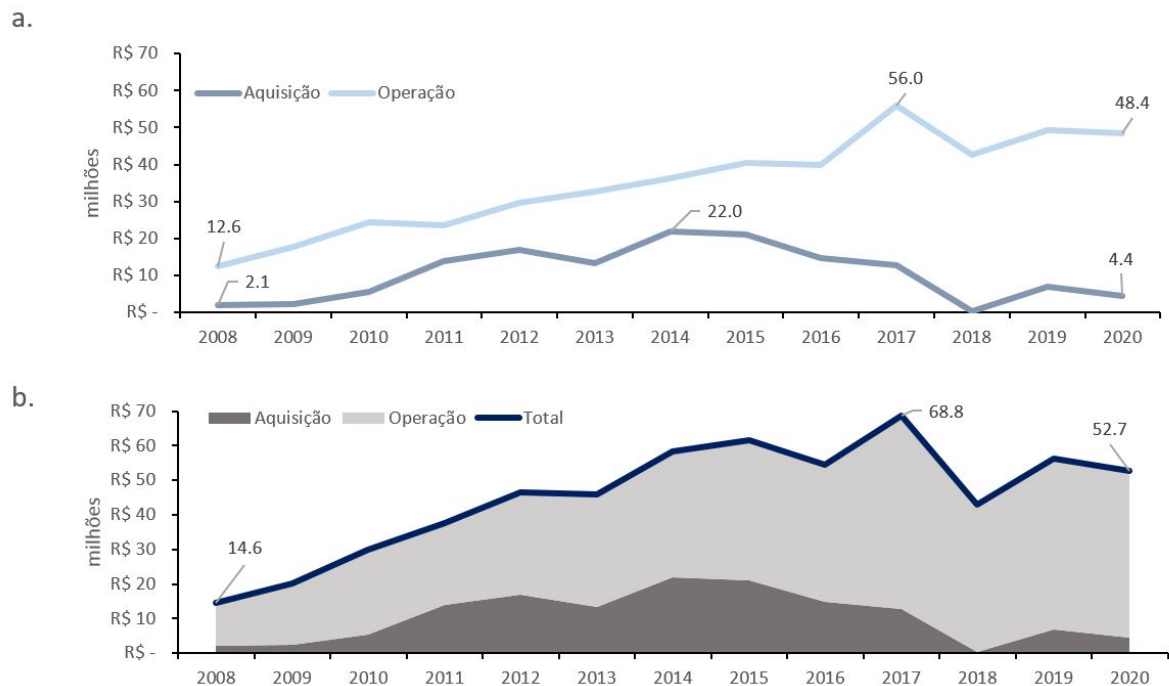


Figura 14 – Custos totais da RHN de 2008 a 2020 com a distinção entre custos de aquisição e operação. a. Custos de aquisição e operação. b. Custo total anual e suas componentes.

Fonte: Marques *et.al.* (2021)

A Figura 14 traz o quantitativo total dos custos da rede entre os anos de 2008 a 2020 onde fica evidente que o custo mais expressivo é o custo de operação. Custos de aquisição (ativos): Plataforma de Coleta de Dados, custo de instalação, veículos, ADCP, barcos, etc. Custos de operação (equipe, diárias): diárias para as campanhas gasolina dos veículos e barcos, sensores para substituição, salário dos profissionais envolvidos, etc.

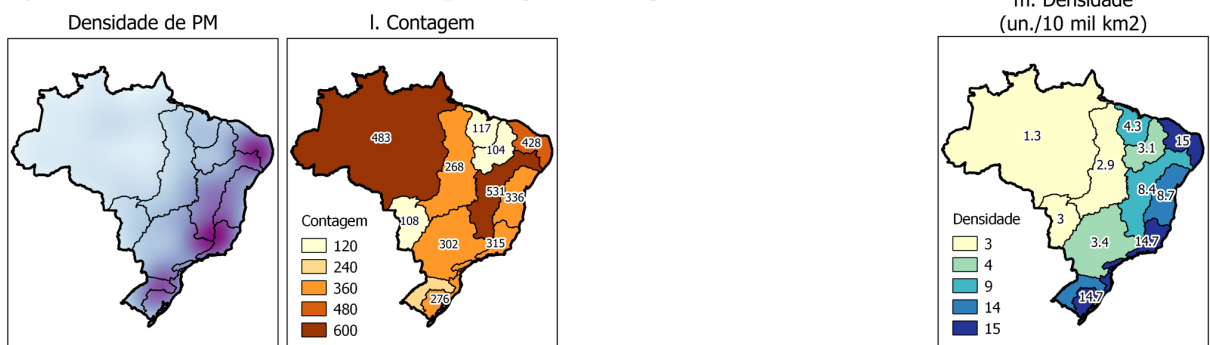
Os custos operacionais foram separados em três componentes para o propósito do inventário de custos: a inspeção e manutenção das estações (1), o pagamento do serviço da anotação ou guarda da estação para os colaboradores (2) e das medições específicas do ponto (3), como medição de vazão por molinete ou doppler, sedimentos, qualidade da água, entre outras.

Aqui é importante discutir que os movimentos descritos no item 3.3, referentes à evolução histórica da Rede, encontram-se refletidos no gráfico, já que se observa uma tendência

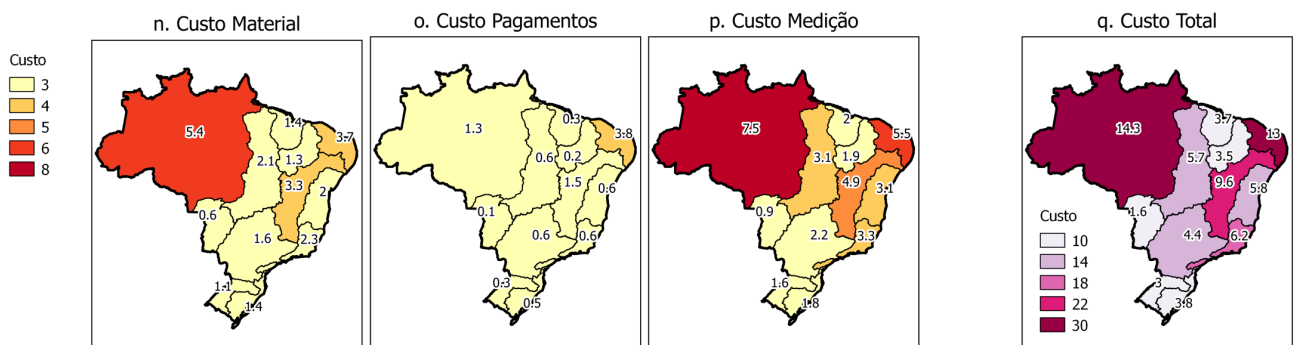
de crescimento do investimento até meados de 2014, quando se percebe uma tendência de estagnação do crescimento de investimento, motivada pela mudança de paradigma no planejamento da Rede, para uma perspectiva de otimização.

Na Figura 15 estão apresentados os resultados do inventário de custo total e médio de operação de Pontos de Monitoramento geridos pela ANA por Regiões Hidrográficas. A distribuição por região hidrográfica para a bacia do Atlântico Sul foi escolhida por incluir a área de contribuição da bacia do Taquari-Antas, objeto de estudo das simulações selecionadas.

Distribuição de Pontos de Monitoramento por região hidrográfica



Custos anuais por região hidrográfica em milhões de R\$



Custos médios anuais por região hidrográfica em milhares de R\$

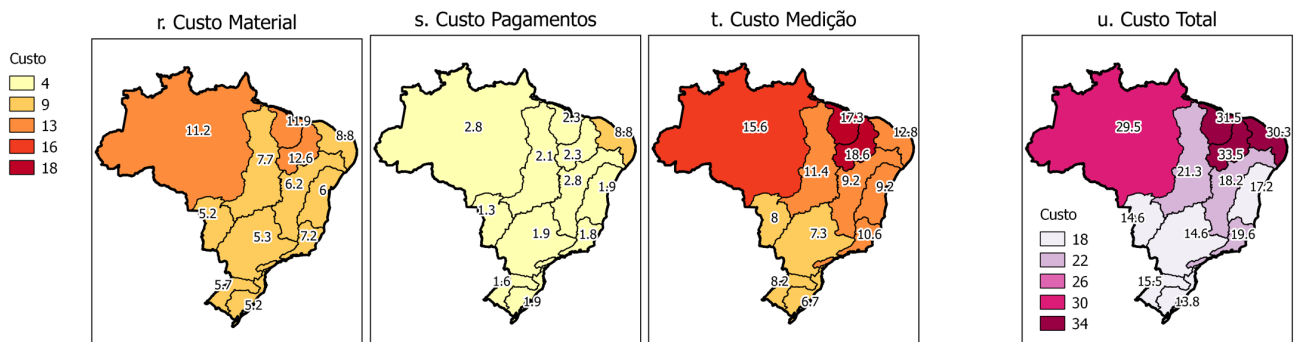


Figura 15 – Custos médios anuais da rede (em milhares de reais por ano) por região hidrográfica. a. Contagem de Pontos de Monitoramento. b. Densidade de Pontos de Monitoramento em unidades por 10 mil quilômetros quadrados. c. componentes do custo total. d. Custo total por região. e. Componentes do custo médio. f. Custo médio por região.

Fonte: Caderno II- Custos da Rede

Ressalta-se que a metodologia aplicada para realização do inventário de custos permite que os dados de custo sejam plotados para qualquer recorte selecionado, uma vez que os custos foram processados na forma de um banco de dados de SIG. No entanto, para o recorte de aplicação selecionado para presente dissertação, estão sendo apresentados os resultados dos mapas de custo no recorte de região hidrográfica

O custo da rede para o recorte selecionado representa **13.800,00 reais por ano** como apresentado no mapa u da Figura 15. O zoom para as bacias abrangidas pelo estado do Rio Grande do Sul, onde está localizada a área de estudo está apresentado na Figura 16.

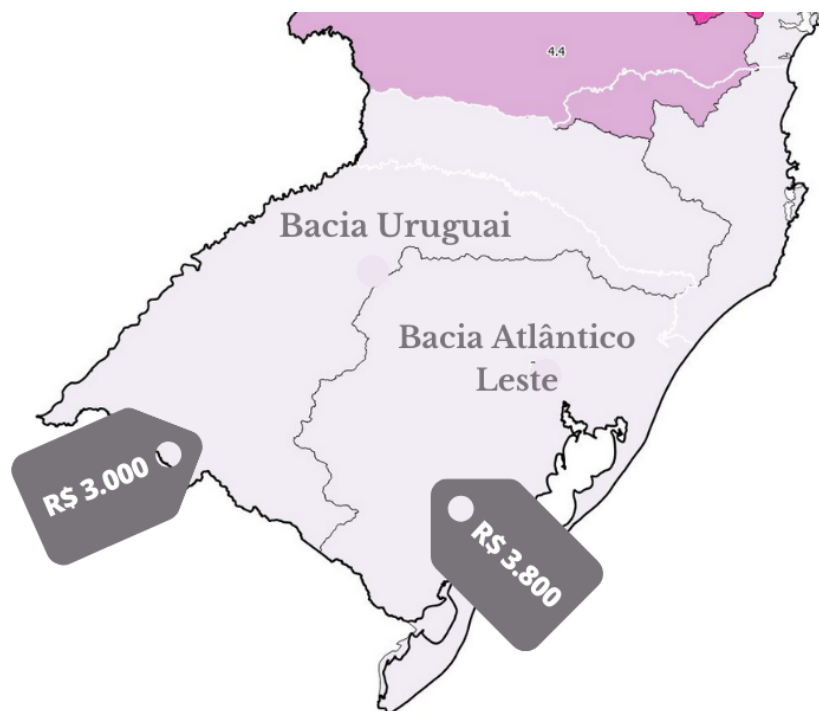


Figura 16 – Custos médios anuais da rede (em milhares de reais por ano) nas regiões hidrográficas presentes no Rio Grande do Sul.

Cabe discutir quanto ao custo associado à região hidrográfica selecionada para a cenarização que os custos para a região hidrográfica do atlântico sul são os menores do Brasil.

Essas diferenças regionais são melhor detalhadas no Caderno de Custos do Projeto de Valoração das Redes, como já foi mencionado. No entanto, para o propósito da presente dissertação a discussão dos resultados que cabe ser incluída neste item é:

Os custos do Sul do Brasil são menores em função da maior densidade de pontos de monitoramento, o que imprime uma economia de escala nas atividades de custeio da rede e também nessa região hidrográfica o potencial hidrelétrico é considerável, o que faz com que o setor elétrico disponha de muitas estações (70% da Rede do Rio Grande do Sul é composta por estações provenientes do Setor Elétrico como apresentado em Nectoux, Fadel & Giacomelli, (2017).

Portanto, é importante estabelecer que o recorte de custos selecionado para a bacia hidrográfica utilizada para a cenarização representa o menor custo quando comparada às demais bacias brasileiras. Também é importante esclarecer que os custos relacionados à operação das estações provenientes do Setor Elétrico são arcadas pelos outorgados de energia, no entanto, para o propósito de benefício relacionado aos dados provenientes da Rede, não diferenciamos as estações em termos de responsável, mas apenas usamos o quantitativo de estações disponíveis na RHN e custo médio por ponto para realizar a análise.

4.2 DEMANDA: ENTREVISTA PARA DETALHAMENTO DOS USOS

A confecção das cadeias causais para um determinado recorte de aplicação, referente aos principais usuários dos dados hidrometeorológicos partiu da aplicação de questionários com representantes de diversos segmentos com o objetivo de identificar a importância geral dos dados provenientes das redes na cadeia decisória do respectivo segmento, permitindo então, a construção de uma cadeia causal da tomada de decisão com suporte no dado hidrometeorológico.

O questionário utilizado como insumo para essa avaliação preliminar do desenho da cadeia causal geral do Projeto foi o seguinte:

1. Quais informações hidrometeorológicas (Nível dos rios, vazão, chuva) são utilizadas na sua área?
2. De que forma esses dados são utilizados e com qual finalidade?
3. Há como estabelecer uma diferença entre dispor ou não de um dado hidrometeorológico nesse uso?

4. O que é feito na ausência de dados hidrometeorológicos?
5. Existe alguma informação (ou qualificação do dado hidrometeorológico) que não está disponível, mas seria útil?
6. É possível, na aplicação usada para o dado hidrometeorológico atribuir valor (quantitativo) a essa informação?

Foram ao total seis entrevistas presenciais com representantes dos seguintes setores prioritários para a Pesquisa: Agricultura, Projetos de Engenharia e Consultoria Meteorológica. A lista de questões elaborada como roteiro para as conversas teve como objetivo manter uma uniformidade nas entrevistas, mas, principalmente foram construídas com o intuito de prospectar informações úteis para compor as relações da cadeia causal de interesse.

As duas últimas entrevistas foram realizadas com pessoal técnico de uma empresa que opera Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) no estado do RS. Estas foram realizadas em um formato mais livre uma vez que, neste ponto da execução do trabalho, o recorte para a tipologia de uso no setor de geração hidrelétrica já havia sido identificado. O propósito desse segundo módulo de entrevistas (detalhadas no Anexo) foi de investigar a cadeia causal específica considerando a tipologia de geração hidrelétrica.

Abaixo estão listados os profissionais entrevistados. A transcrição resumida de cada uma das entrevistas encontra-se no Anexo.

- Márcio Shigueaki Inada – Me. Eng. Ambiental, Doutorando do PPGRHSA/IPH
- Willians Bini Silva – Me. Meteorologista Diretor de Projetos Somar Meteorologia
- Luis Antonio de Leon Valente – Eng. Agrônomo Diretor Valente Consultoria Agrícola
- Pompílio Viera Loguercio – Eng. Civil Diretor Sultepa S.A.
- Francielli Scopel- Eng. Civil Bolognesi Engenharia
- Fabiana Lutkemer- Eng. Civil Elle Arquitetura e Engenharia

4.3 RECORTE DA TIPOLOGIA DE USO

A terceira etapa da metodologia aplicada no presente trabalho diz respeito ao recorte geral da tipologia de uso e a respectiva cadeia causal que orienta a investigação dos cenários com vistas a subsidiar a análise custo benefício.

Conforme descrito no item 4.2, a aplicação dos questionários com profissionais que utilizam os dados provenientes da Rede permitiu um desenho da cadeia causal geral (



Figura 17) que serviu como base para se pensar nas diversas tipologias de uso que se relacionam com essa cadeia.

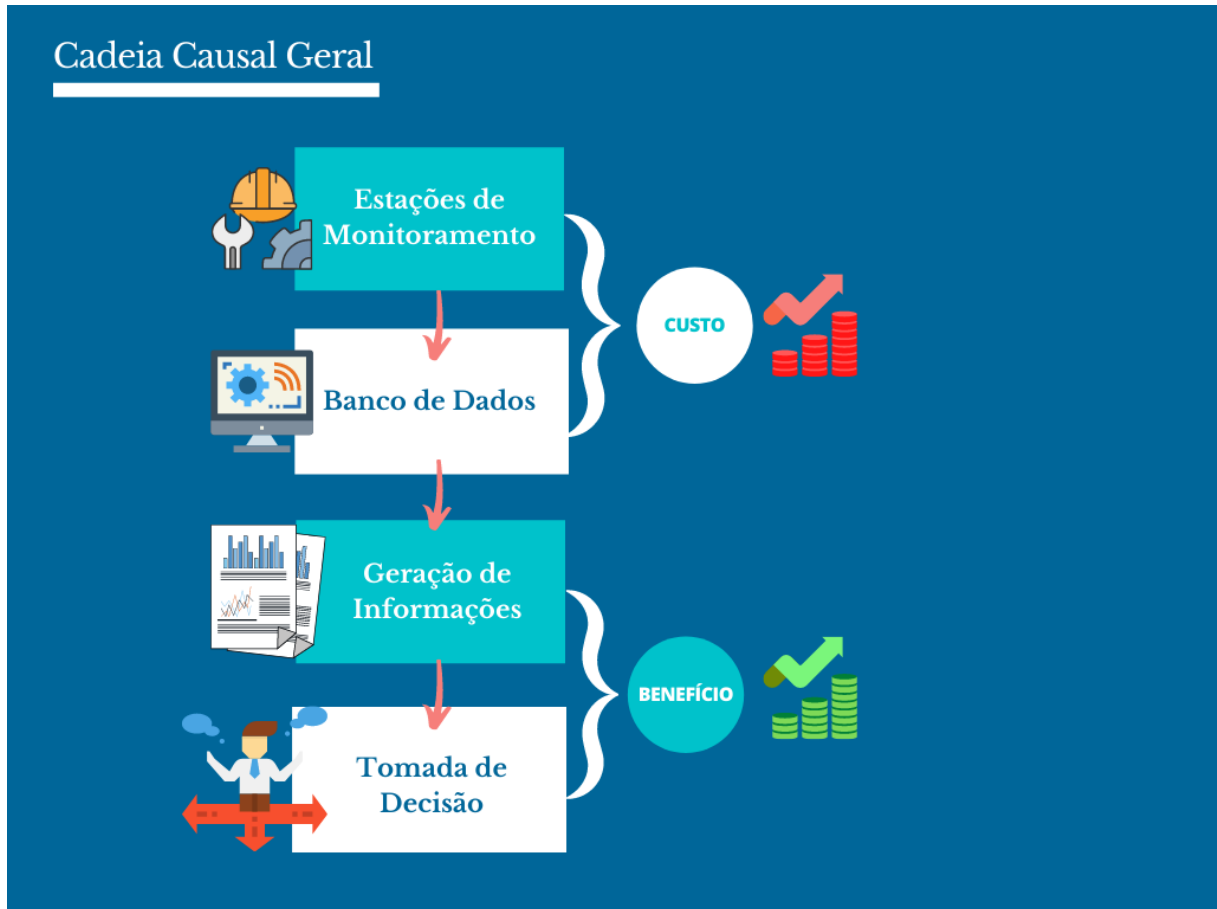


Figura 17 – Cadeia Causal Geral.

A

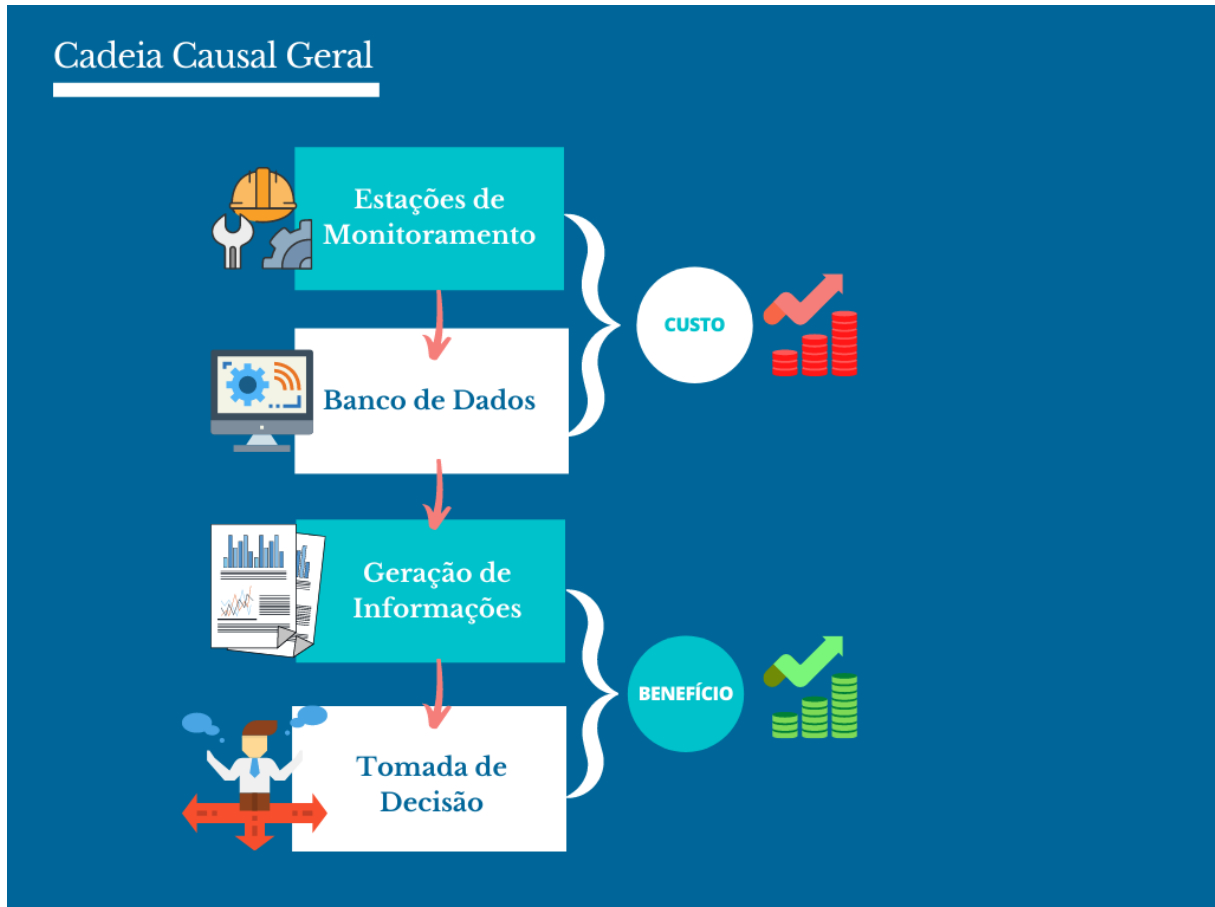


Figura 17 apresenta a lógica geral que norteia a análise das cadeias causais construídas para cada recorte de aplicação. As estações de monitoramento coletam dados hidrometeorológicos, que por sua vez compõe um banco de dados (Hidroweb, já detalhado no capítulo 3). A essa gestão da Rede está associado um custo. A partir das informações coletadas no banco de dados, os usuários dos segmentos como hidroenergia, agricultura, infraestrutura viária, gestão de risco de desastres, entre outros, são geradas informações que por sua vez dão suporte à tomada de decisão.

A partir da avaliação das entrevistas realizadas foi identificada a tipologia de uso do segmento de hidroenergia para o recorte de aplicação, detalhado no item 4.4. Essa escolha se deu em razão da possibilidade de quantificação dos benefícios auferidos e por se tratar de um segmento altamente regulado, com regras comuns a todos os empreendimentos no país, já que a gestão se dá de modo centralizado pela ANEEL.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DE UM RECORTE DE APLICAÇÃO

A investigação do uso das informações no setor da Hidroenergia permitiu a identificação de um recorte de aplicação escolhido para análise detalhada da cadeia causal, em função da

relativa facilidade na disponibilidade de dados se comparado com o potencial de geração de resultados. O recorte explora o valor econômico do uso das informações hidrometeorológicas no mercado de energia a partir da garantia física.

Como já descrito no item 3.13.3, em um projeto de usina hidroelétrica de pequeno porte, as PCHs, a quantidade de energia que pode ser comercializada é a chamada Garantia Física. Esse valor equivale ao "papel" que poderá ser comercializado no ambiente regulado ou livre. É, portanto, uma métrica relevante para o presente estudo.

Uma vez que o cálculo da Garantia Física é feito com base nos dados hidrometeorológicos históricos (banco de dados Hidroweb) e que este valor pode ser facilmente monetizado, ou seja, relacionado ao valor de venda de energia no leilão ou mercado livre, a escolha metodológica do presente trabalho foi de desenhar a cadeia causal para esse recorte e estabelecer uma cenarização de diferentes disponibilidades de dados para que fossem obtidos diferentes valores de garantia.

Finalmente, cabe destacar que há benefícios intangíveis, fora do escopo deste trabalho, mas que merecem uma breve descrição. No item 4.2, foram descritas a série de entrevistas com profissionais usuários das informações coletadas pelas Redes, em diversos segmentos do mercado, em que fica claro o caráter intangível de muitos benefícios associados à rede, relacionados a benefícios de difícil quantificação, como o benefício de conhecer o regime hidrológico das bacias de uma forma geral. Em ANA (2017) é comentado que uma série longa de dados hidrológicos “não tem preço”. Considerando a dimensão social do projeto da Rede, na qual os observadores são muitas vezes os próprios moradores das regiões ribeirinhas, que obtém do serviço de registro de dados diários não apenas uma fonte de renda mas também um vínculo especial com a gestão de recursos hídricos, verifica-se o seu papel como multiplicadores da importância desse serviço no âmbito da comunidade.

Tal aspecto evidencia a infinidade de benefícios intangíveis associado à gestão da rede hidrometeorológica e dos dados obtidos. Entretanto, justamente pelo fato da sua natureza intangível e de difícil avaliação, muitas vezes passam despercebidos ao justificarmos os investimentos na rede, o que torna o emprego de metodologias quantitativas necessário de modo a complementar o entendimento dos benefícios difusos.

4.5 DESENHO DA CADEIA CAUSAL DO RECORTE ESCOLHIDO

O desenho da cadeia causal para o recorte de aplicação selecionado parte da relação da qualidade do dado com o suporte à decisão no que se refere à garantia física de PCHs. A garantia física depende, dentre outros fatores, da vazão no trecho de interesse. Como a vazão é uma variável aleatória, qualquer decisão associada à mesma fica sujeita a um elemento de incerteza, associado à (i) variação natural desta variável, (ii) conhecimento imperfeito sobre todas as causas e processos físicos associados e (iii) falta de dados ou informação incompleta sobre a variável (Benjamin & Cornell, 1970).

No campo da engenharia, o tratamento destas incertezas é feito com emprego da teoria de probabilidades, na qual descrições matemáticas das variáveis são construídas com o emprego de **modelos probabilísticos** relacionados com observações do fenômeno físico responsável pela variável. A partir da análise de observações (dados amostrados), são produzidas estimativas numéricas dos parâmetros do modelo probabilístico. Entretanto, a dependência do tamanho das amostras gera incerteza na estimativa dos parâmetros e até na validade do próprio modelo. Segundo Cornell (1970), a análise enfrenta pelo menos três tipos distintos de incertezas: (1) incerteza *natural, intrínseca, irredutível ou fundamental*, associada ao próprio fenômeno probabilístico; (2) incerteza *estatística*, associada à falha em estimar os parâmetros com precisão, e (3) incerteza do próprio modelo. Quanto maior a disponibilidade de dados sobre a variável, maior a possibilidade de reduzirmos as incertezas (2) e (3).

Desta forma, a disponibilidade de séries de vazão mais longas, ou ainda de séries de vazões diárias no lugar de vazões mensais contribui para o melhor conhecimento sobre esta variável aleatória e menor incerteza no cálculo da garantia física. O resultado é uma menor diferença entre o valor estimado da garantia física, sobre qual o contrato de venda de energia é definido, e a energia que a empresa irá de fato produzir em um dado intervalo de tempo. Além desse aspecto, a decisão quanto à motorização da usina também é beneficiada.

As decisões principais para o recorte escolhido são:

Qual o intervalo de dados que será utilizado (respeitando o mínimo de 30 anos de dados) a fim de determinar:

- A motorização (número de turbinas) que será escolhido para o projeto;
- O percentual da garantia física que será vendido em ambiente de livre mercado.

4.6 SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

As metodologias de simulação e cenarização aqui apresentadas foram elaboradas a partir dos resultados do desenho da cadeia causal, item 4.x. Para avaliar o efeito de diferentes disponibilidades de dados, foram elaboradas simulações por meio das cadeias causais construídas. Cada simulação estima o efeito, no cálculo de garantia física, de diferentes cenários de disponibilidade de dados.

Os cenários foram criados de forma a testar duas variáveis: o tamanho da série de dados (longa vs curta) e o refinamento do dado (diário vs. mensal). Para as simulações, foi utilizado o caso da PCH Primavera do Rio Turvo, da Hidrotérmica S.A., cujas informações de projeto foram cedidas para o propósito deste trabalho.

Ficha Técnica da PCH Primavera do Rio Turvo, retirada do Parecer Técnico 2012/2006 SGHANEEL que avaliou a potência instalada referida PCH.

- Potência Instalada (MW)= 30
- Fator de capacidade = 0,55
- Nível de Água normal de montante (m)= 346,50
- Nível de Água normal de jusante (m)= 303,50
- Queda Bruta Hb(m) = 425,0
- Perda hidráulica no circuito adutor (% Hb)= 3,4
- Queda Líquida Hl(m) = 41,06
- Indisponibilidade (%) = 5,0
- Rendimento médio do conjunto turb/ger (%)= 90,21
- Vazão remanescente (m³/s) = 1,68*
- Vazão Média de Longo Termo Líquida (m³/s)= 71,60

*Na bacia do Taquari-Antas, a vazão remanescente do aproveitamento é dada com referência à Q95% da vazão de referência do trecho de rio.

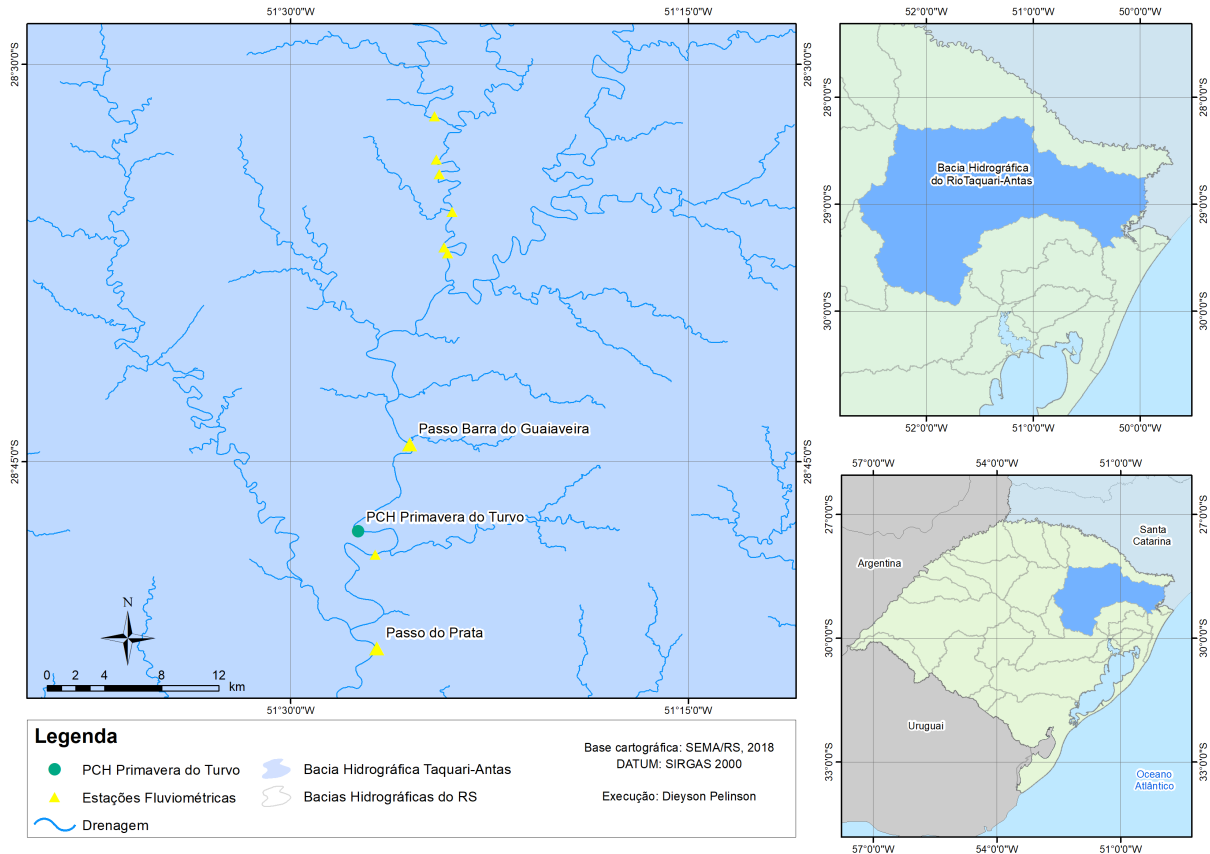


Figura 18 – Localização do Eixo do barramento da PCH Primavera do Turvo e respectivas estações (Passo do Guaiaveira e Passo do Prata) utilizadas como fonte dos dados históricos de vazão no cálculo da garantia física.

4.6.1 Área de estudo

Dois fatores foram determinantes para a escolha dessa PCH como exemplo para cenarização proposta. Em primeiro lugar, o rio Turvo fica localizado na Bacia do Atlântico Sul (na classificação da ANA) e na bacia do Taquari Antas (na classificação do Departamento de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul). Essa bacia apresenta uma variabilidade hidrológica bastante significativa em função de sua geomorfologia, o que é importante para avaliar os impactos de uma série de dados utilizando a média diária versus a média mensal de vazões.

Em segundo lugar, essa é uma bacia com uma densidade de monitoramento relativamente alta e com um bom histórico de medições (duas estações representativas Passo do Barra do Guaiaveira e Passo do Prata, no rio Turvo). Portanto, a série histórica de dados hidrometeorológicos disponível é longa, chegando a 80 anos de dados. Essa disponibilidade foi importante para que se conseguisse simular a garantia física com diferentes intervalos e refinamento nos dados.

4.6.2 Cenarização proposta

Foram investigados dois fatores de qualificação dos dados hidrometeorológicos em função do impacto no cálculo da Garantia Física a partir da série de dados da estação Passo Barra do Guaiveira, código ANA 86410000 à montante do eixo do barramento. Também foram usados, complementarmente os dados da estação à jusante Passo do Prata, código ANA 86440000.

O primeiro cenário é centrado no impacto do tamanho da série histórica de vazões

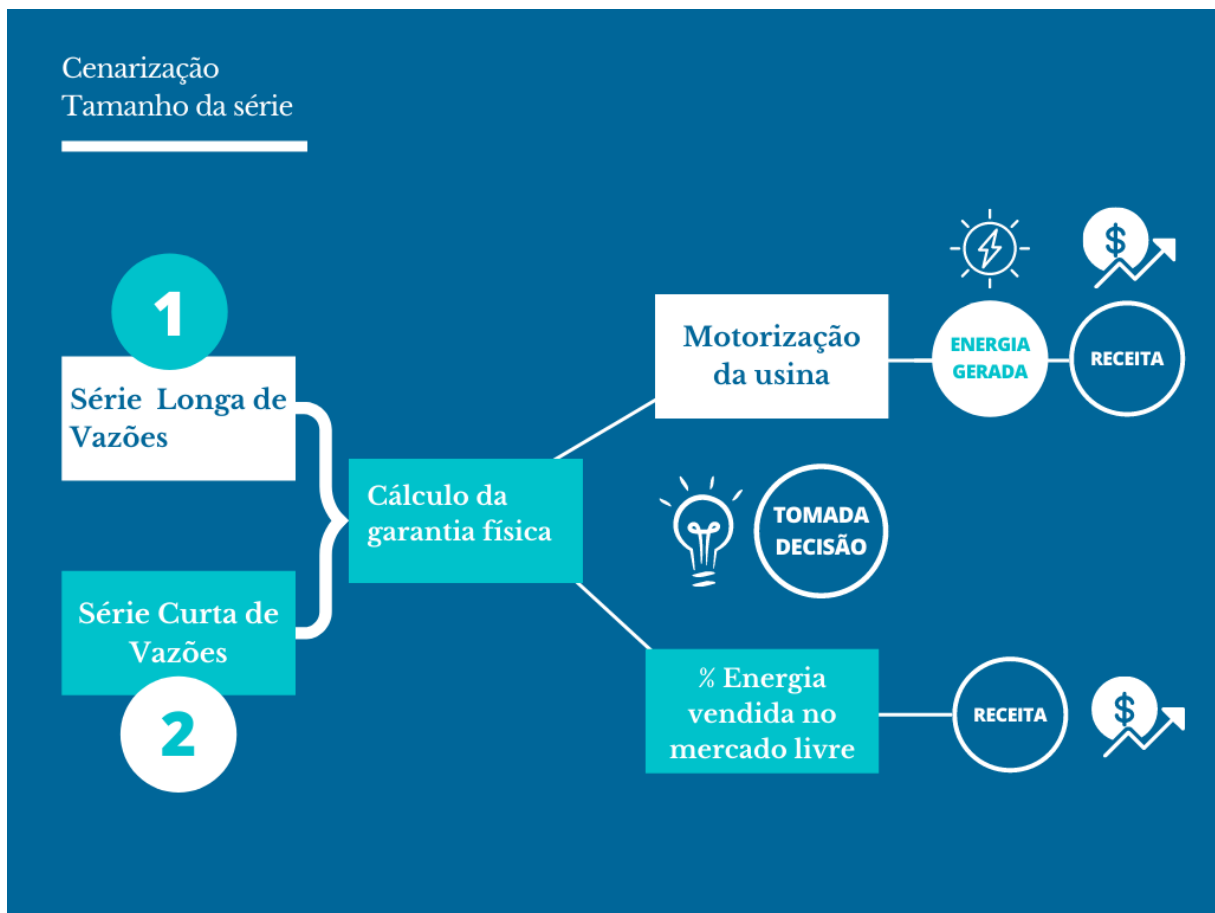


Figura 19). Foram testados três cenários:

Série de vazões mensais entre:

- 1940-2019: 960 dados (80 anos)
- 1969-2019: 612 dados (60 anos)
- 1990-2019: 360 dados (30 anos)

Observação: o intervalo não pode ser inferior a 30 anos de dados em atendimento à Portaria 463/2009.

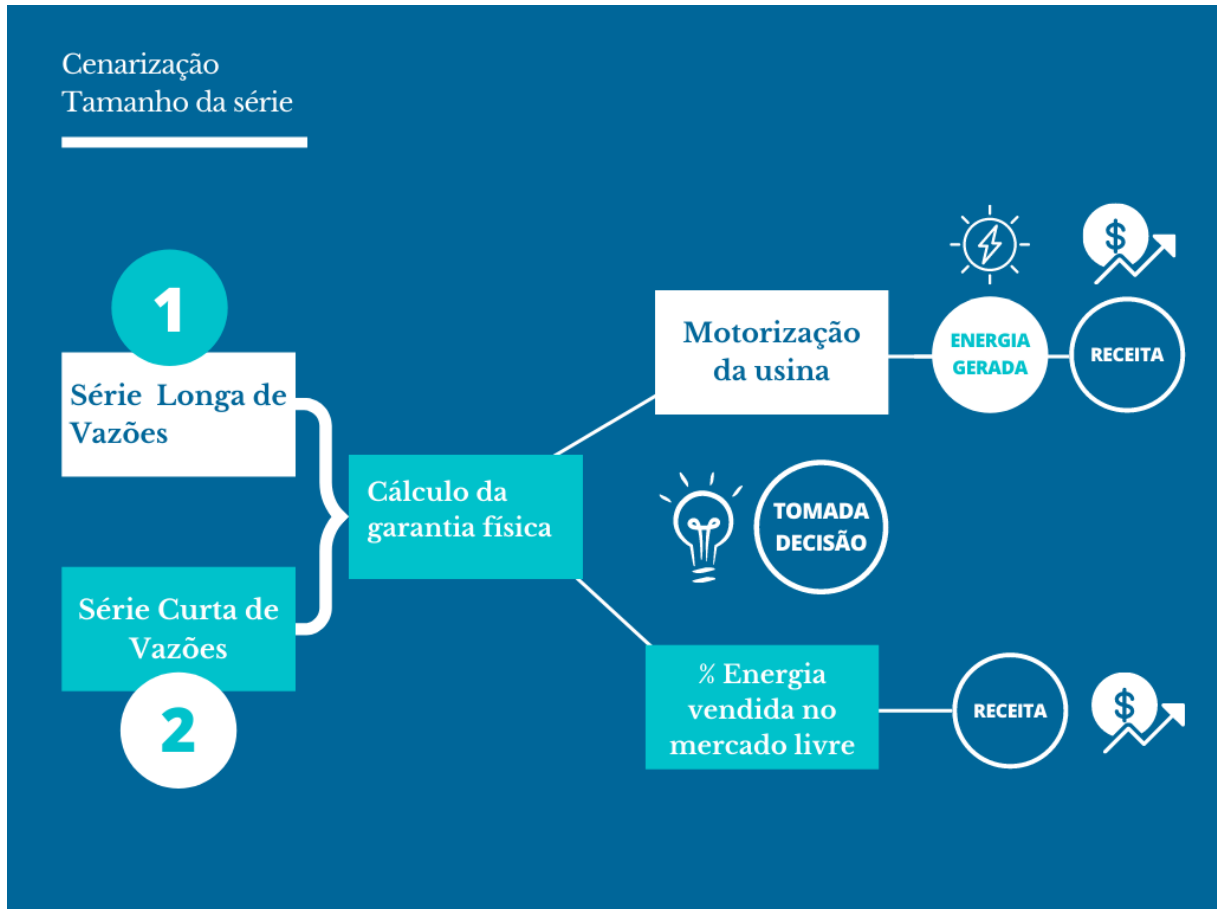


Figura 19 – Cenarização conforme avaliação do benefício pelo tamanho da série.

Além do intervalo de dados, foram investigados os cenários com relação ao refinamento do dado hidrometeorológico, ou seja, um cenário com dados diários e outro com dados

mensais, provenientes de uma rede telemétrica (

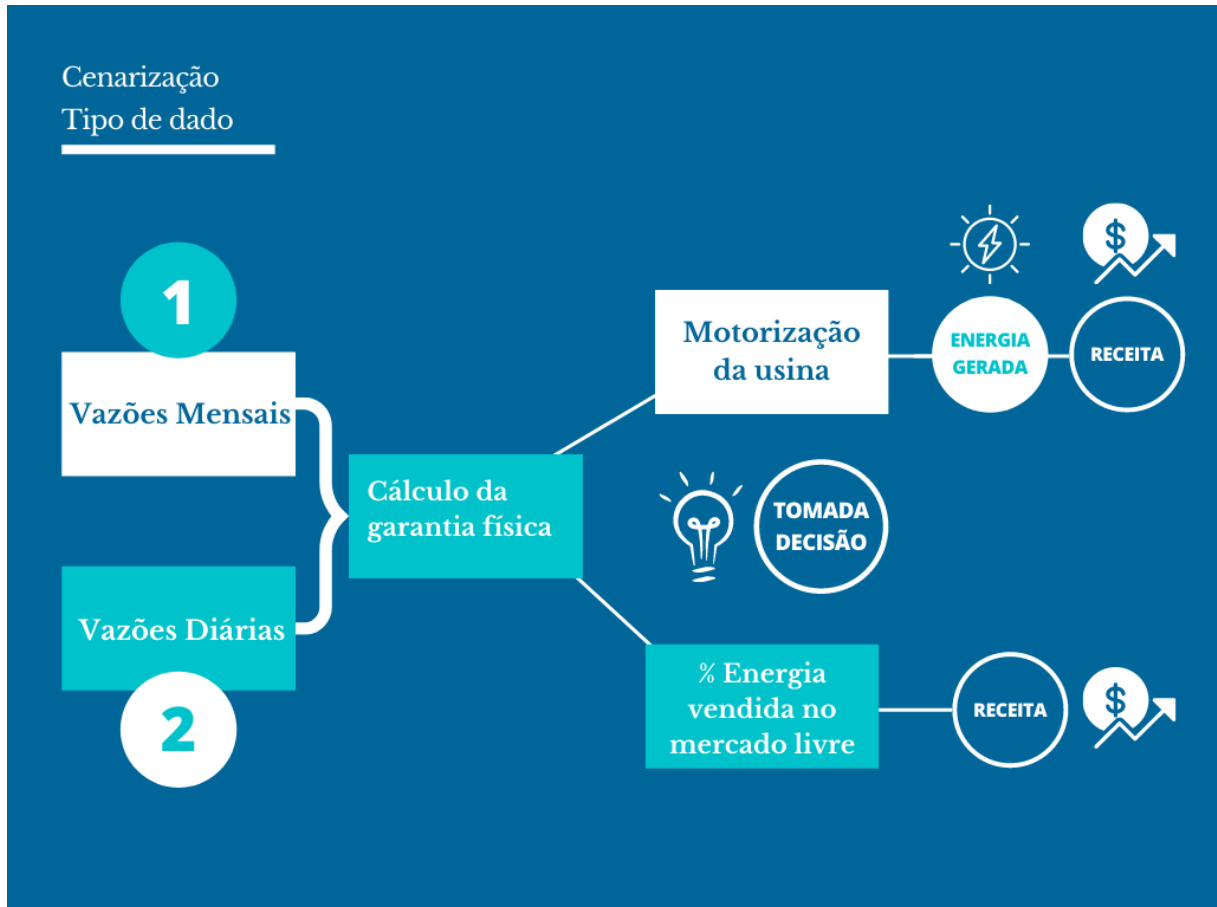


Figura 20).

Série de vazões diárias entre:

- 1940-2019: 29700 dados (80 anos)
- 1969-2019: 18535 dados (60 anos)
- 1990-2019: 10865 dados (30 anos)

Sobre as séries de dados selecionados, é importante esclarecer que nem todos estes dados são provenientes de estações telemétricas (que incluem uma PCD com transmissão satelital de dados em tempo real) já que essa é uma tecnologia recente. No entanto, para fins de comparação com os custos operacionais da RHN, vamos considerar que a qualidade do dado diário é equivalente aos dados provenientes de uma rede de estações telemétricas.

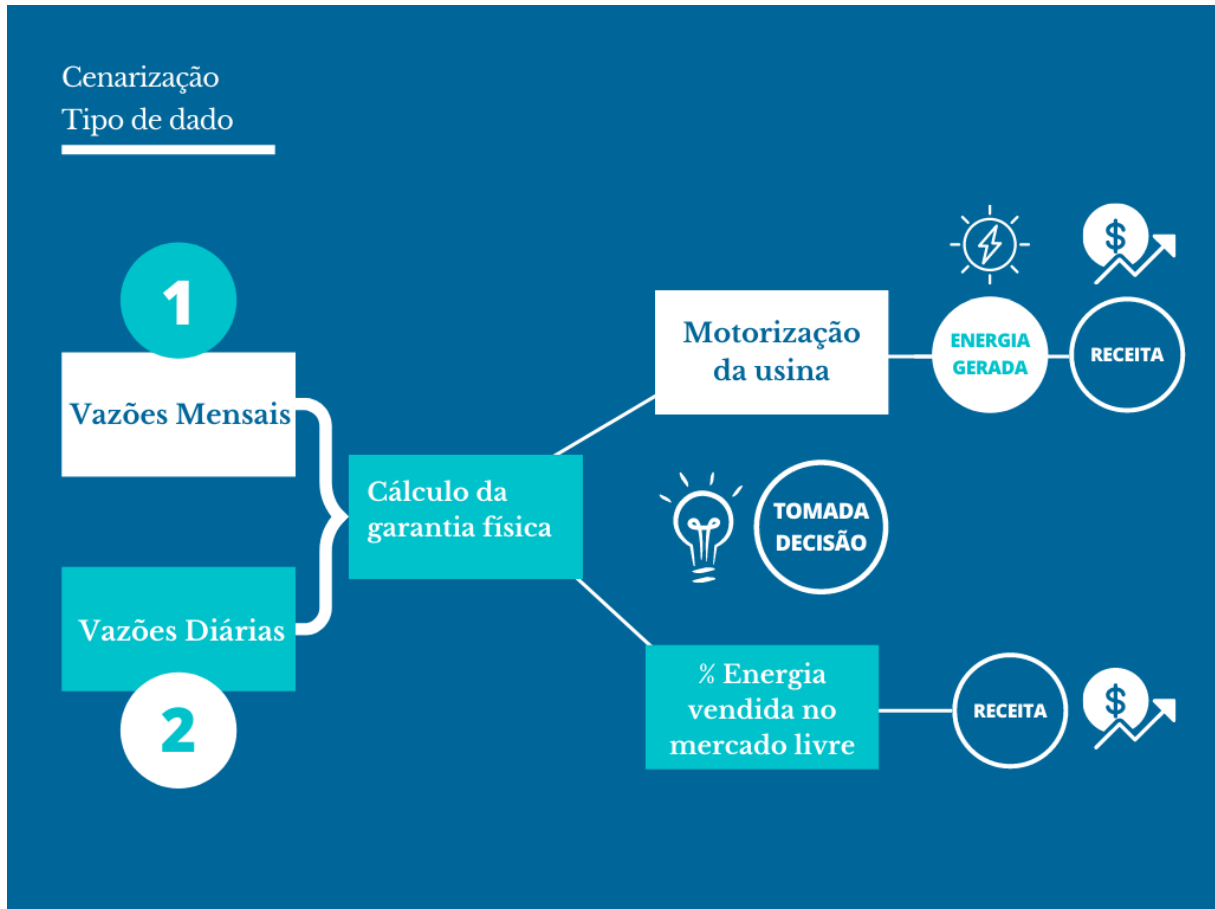


Figura 20 – Cenarização conforme avaliação do benefício pelo tipo de dado.

Ao todo, portanto, foram criados seis cenários de garantia física no que se refere à série de vazões histórica, são eles: **Sd30, Sd60, Sd80, Sm30, Sm60 e Sm80**. S para Série, d= dados diários, m=dados mensais, 30= série 30 anos (1990-2019); 60=série 60 anos (1969-1990); 80= série 80 anos (1940-2019).

A Garantia Física é calculada a partir da metodologia apresentada na Portaria do Ministério de Minas e Energia N°463, de 03 de dezembro de 2009. A equação é descrita no Art 4º:

$$GF_E = \left(\sum_1^n \min[(Q_1 - qr - qu)] \cdot (1 - Perdas_{con}) \cdot (1 - TEIF) \cdot (1 - IP) \cdot \frac{1}{1000 \cdot n} - C_{int} \right)$$

Onde:

P: Potência Instalada Total (kW);

Potência Instalada por Gerador (kVA) e seu Fator de Potência;

Potência Instalada por Turbina (kW) e seu engolimento mínimo (m³/s);

nt: Rendimento Nominal por Turbina (%);

ng: Rendimento Nominal por Gerador (%);

TEIF: Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada (%);

IP: Indisponibilidade Programada (%);

h: Perdas Hidráulicas Nominais (m);

Hb: Queda Bruta Nominal (m);

Perdascon: Perdas Elétricas até o Ponto de Conexão (%);

Cint: Consumo Interno (MW médio);

qr: Vazão Remanescente do Aproveitamento (m³/s);

qu: Vazão de Usos Consuntivos: (m³/s);

Qi: Vazão média do mês i (m³/s);

Um ponto que deve ser destacado da Portaria, que se relaciona diretamente com o objetivo da análise custo benefício proposta, é o parágrafo XIV, que determina que o histórico de vazões utilizado para o cálculo de Qi não seja inferior a 30 anos de dados.

Ainda, é importante notar que a garantia física de uma usina é sempre menor que a sua potência instalada e a soma das garantias físicas de todas as usinas de um sistema corresponde à carga que poder ser cumprida mantendo-se o risco de déficit controlado e um custo operacional médio em equilíbrio com o custo de expandir o sistema (DE CASTRO *ET. AL.*, 2014).

Sobre a interpretação da equação, é importante notar que:

- A potência instalada (P) é um dado obtido pelo inventário.
- A Queda bruta é um dado de projeto;

- Os dados referentes à vazão dos usos consuntivos (qu) e vazão remanescente (qr) são obtidos normalmente do Plano de Bacia da referida bacia e validados junto ao órgão de recursos hídricos.
- Os dados de rendimento de turbina, perdas e indisponibilidade programada (kw, nt, ng, TEIF, IP, Perdascon, Cint, h, potência instalada por gerador, potência instalada por turbina) são normalmente tabelados e disponibilizados pelo fabricante da turbina selecionada pelo projeto.
- O termo da equação mais importante para o propósito desse trabalho é o somatório das vazões médias do mês, que vai variar conforme a disponibilidade dos dados em termos de tamanho da série e também da qualidade do dado (se são médias mensais ou diárias).

A cadeia parte, evidentemente, da Rede, por meio da qual são coletados os dados. Para a aplicação em tela, os dados de interesse são especificamente as séries históricas de vazão, disponíveis no Hidroweb. Na cadeia, esse dado é processado na forma de informações hidrológicas, refletidos na determinação do regime hidrológico, isto é, qual é o comportamento das vazões ao longo do período de medição no que se refere ao potencial de geração hidrelétrica. Essa é a informação primordial que serve como insumo para o segmento da hidroenergia.

De posse das séries de vazão e consequente compreensão acerca do comportamento hidrológico do trecho de rio em que o empreendimento energético está instalado, partimos para o cálculo da garantia física que, conforme já foi detalhado no item 3.13.3, sofre impacto direto do tamanho e qualidade dos dados da série de vazão utilizada.

Com o objetivo de calcular a garantia física nos seis cenários de séries de vazão, foram utilizadas as séries de **vazões afluente** obtidas a partir das estações Passo do Guaiaveira e Passo do Prata, organizadas em ordem cronológica em uma tabela para que pudessem ser somadas a quantidade de dados disponíveis em cada cenário. De posse dos dados de vazão que, conforme já mencionado, variou de 360 dados no cenário Sm30 até 29700 dados de vazão no cenário Sd80, foram então calculadas as **vazões turbináveis** em cada mês (no caso dos cenários Sm80, Sm60 e Sm80) ou em cada um dos 31 dias do mês (no caso dos cenários Sd80, Sd60 e Sd30). Sendo a vazão turbinável dada por :

$(Q_{\text{afluente}} - Q_{\text{remanescente}})$, quando $>$ que o engolimento mínimo de 1 turbina

Ou seja, é no cálculo das vazões turbináveis que entra a questão da motorização, já que o número de turbinas vai afetar o valor do engolimento mínimo de 1 turbina.

Depois do cálculo das vazões turbináveis, foi calculada a potência gerada no mês, ou no dia (a depender do cenário). Sendo a potência gerada no mês (ou no dia, no caso dos cenários de vazão diária) é dada por:

$$P_{gerada} = (Q_i - q_r - q_u) * 9,81 * (H_b - h) * n_{tg}$$

Onde,

P: Potência Gerada no mês ou no dia (kW);

Qi: Vazão média do mês ou dia i (m³/s);

qr: Vazão Remanescente do Aproveitamento (m³/s);

Hb: Queda Bruta Nominal (m);

h: Perdas Hidráulicas Nominais (m);

nt: Rendimento Nominal por Turbina (%);

ng: Rendimento Nominal por Gerador (%);

Uma vez calculada a potência gerada em cada mês ou dia da série, foi possível aplicar a equação da garantia física no excel, lembrando que o primeiro termo da equação é o somatório da potência gerada, ou seja, o cálculo leva em consideração toda a série de dados de vazão como input, que é o n do somatório, o número de dados, que varia em cada cenário calculado.

No caso dos cenários de motorização, o mesmo procedimento de organização das séries de vazão, transformação para potência e cálculo da equação foi realizado, apenas modificando o número de turbinas, o que modifica o termo da equação que depende da potência gerada na série. A variável que foi alterada em cada cenário, portanto, foi o número de turbinas, entre duas, três e quatro turbinas. Uma turbina apenas não é recomendável em função da parada para manutenção, e mais do que quatro turbinas não seria recomendado em função da potência da PCH Primavera do Turvo.

O resultado produzido, que será discutido em mais profundidade no item 5.2, foram 18 valores de garantia física (seis cenários de série de vazões x três cenários de motorização) com

o objetivo de verificar o impacto da motorização em combinação com a qualidade da série de vazões, conforme já comentado.

4.7 COMPARAÇÃO DE CUSTOS E BENEFÍCIOS ENTRE OS CENÁRIOS

A comparação entre os efeitos dos diferentes dados é feita a partir das consequências das decisões tomadas.

Uma sub-estimativa da garantia física pode resultar em um contrato de venda de uma quantidade de energia aquém do real potencial do sítio onde a PCH é instalada (o empreendedor deixa de ganhar). Por outro lado, uma super-estimativa da garantia física pode resultar em um contrato de venda de uma quantidade de energia que pode não ser alcançada em uma quantidade significativa de intervalos de tempo (baixa confiabilidade) o que penaliza o empreendedor uma vez que, se por ventura não for possível entregar a energia contratada (com base na garantia física) o empreendedor está sujeito à multas e a depender do contrato terá que contratar a energia faltante no mercado livre, o que pode gerar prejuízos significativos.

Finalmente, a escolha da motorização envolvendo um determinado número de turbinas condiciona a vazão mínima a partir da qual a geração é interrompida.

Em relação aos dados, o refinamento mensal é menos preciso ao não captarem a variabilidade da vazão ao longo do dia, o que no caso de bacias como Taquari-Antas é relevante. Por outro lado, o custo de uma rede que mede dados horário de vazão é significativamente maior que o custo de medir apenas dois dados em um mesmo dia.

Para o propósito da comparação entre os cenários, foi adotado como cenário de referência aquele de 80 anos de dados (1940-2019) e vazão diária (Sd80). A justificativa é que se trata do cenário com a série de dados mais longa (80 anos) e de maior refinamento (dados diários) o que resulta em menor incerteza na estimativa do comportamento estatístico da variável aleatória de interesse (vazão).

O comportamento estatístico foi aqui avaliado por meio de funções de distribuição acumuladas empíricas de probabilidades (CAI, 2013). Uma função de distribuição acumulada empírica é um estimador não paramétrico da função de distribuição acumulada da variável aleatória, indicando a probabilidade de não excedência do valor da variável. Um aspecto interessante é que a ECDF se aproxima da CDF a medida em que o tamanho da amostra aumenta, o que permite avaliar e comparar diferentes ECDFs (com tamanhos de amostras diferentes) que é o propósito do trabalho. Para tornar a análise e os resultados mais familiares

com a forma como a informação é tradicionalmente analisada na área da engenharia de recursos hídricos, a ECDF é usada para se estimar a curva de permanência.

Conforme Cruz e Tucci (2008) a curva de permanência (duração de vazões) relaciona a vazão com a porcentagem do tempo em que esta é excedida (ou igualada) dentro do período de tempo utilizado. Esta característica torna a curva de permanência o complemento da CDF de vazões. Cruz e Tucci (2008) destacam ainda que, embora a permanência não se refere à probabilidade das vazões em qualquer ano, a mesma pode ser utilizada para se estimar a garantia de ocorrência das vazões em um dado intervalo de tempo.

Desta forma, quanto maior a disponibilidade de dados (série mais longa e mais refinada) mais a garantia de ocorrência das vazões calculada empiricamente se aproxima do valor da CDF e maior a confiabilidade associada ao cálculo da garantia física, considerando o cenário de referência como a melhor estimativa da CDF. A confiabilidade foi então investigada a partir da análise de curvas de permanência das vazões e potências na série histórica em cada um dos cenários.

Portanto, com o objetivo de verificar o atendimento das potências de projeto foram traçadas as curvas de permanência referentes a cada cenário e essa curva foi cruzada com a linha de garantia física calculada em cada cenário. Os pontos de interesse são referentes ao encontro da garantia física com a curva de permanência de potência, indicando com qual permanência esse valor de garantia é igualado ou superado.

Nesse ponto, foi calculada a permanência da série de vazões afluentes usada como input, da série de vazões turbináveis e da série de potência geradas em cada mês ou dia, apresentadas no item 4.6.2. Depois disso, a permanência da potência equivalente à garantia física foi comparada com o cenário de referência, que é o cenário com maior intervalo de dados e melhor qualidade do dado, ou seja, o cenário Sd80 (série de vazão diária com 80 anos de dados).

4.8 ESTIMATIVA DE BENEFÍCIO PARA O RECORTE DE TIPOLOGIA DE USO

Com o propósito de sustentar a análise custo benefício do recorte de tipologia como um todo, qual seja, o benefício do dado hidrometeorológico para o cálculo da garantia física em PCHs, os benefícios estimados para o recorte de aplicação, PCH Primavera do Turvo, foram extrapolados para todo o trecho inventariado (Figura 21). Segundo o Despacho N° 3.901 ANEEL de 7 de dezembro de 2012, os aproveitamentos identificados da revisão do Inventário do Rio Turvo na Bacia do Taquari Antas, totalizam uma potência inventariada de 69,4MW, e, atualmente. O trecho conta com nove estações de monitoramento da RHN.

Aproveitamentos e Estações no Rio Turvo RS			
Aproveitamentos	Potência (MW)	Estações	Código
PCH Foz do Prata	9,3	PCH DA ILHA Balsa do Turvo	86410050
PCH Primavera do Turvo	30	PCH SANTA CAROLINA JUSANTE	86406000
PCH Segredo	9,2	PCH SANTA CAROLINA BARRAMENTO	86405000
PCH Dalsasso	10,5	PCH JARDIM JUSANTE 2	86404000
PCH Foz do Segredinho	8,7	PCH JARDIM JUSANTE 1	86403000
PCH Linha Tafona	11,1	PCH JARDIM BARRAMENTO	86402000
PCH Barra do Ituim	7,4	PCH JARDIM MONTANTE	86390900
PCH Limeira	4,4	PASSO BARRA DO GUAIÁVEIRA	86410000
Santa Carolina	10,5	PASSO DO PRATA	86440000
Chimarrão	8,2		
PCH Fazenda Velha1	7,3		Total: 09 estações
Jardim	9		
Volta Longa	2,2		
PCH Passo da Pedra	1,5		
	Total: 69,4MW		

Figura 21 – Aproveitamentos e estações localizadas no Rio Turvo/RS.

Fonte: Despacho Nº 3.901 ANEEL de 7 de dezembro de 2012 e Hidroweb ANA.

Para extrapolar os resultados obtidos na comparação de custos e benefícios apresentadas no item 4.7. a metodologia utilizada foi realizar uma extrapolação linear considerando o percentual da potência da PCH Primavera que de fato foi realizado como garantia física e simular os valores de benefício, considerando os percentuais de maior e menor delta obtidos na simulação da PCH Primavera.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de um amplo espectro de informações e investigação dos usos e custos da rede foi possível identificar um recorte de aplicação que possibilitasse a avaliação de custo-benefício idealizada na concepção do Projeto. Uma vasta gama de informações foi trabalhada nos capítulos anteriores e convergiram para uma metodologia de cenarização com base na cadeia causal do uso do dado hidrometeorológico em projetos hidroenergético que, por sua vez, permitiu o cotejo dos custos da rede na área de estudo com os benefícios marginais obtidos na cenarização e a extrapolação desses benefícios para um recorte de tipologia.

5.1 CADEIA CAUSAL PARA O SEGMENTO DE HIDROENERGIA

A cadeia causal para o recorte de aplicação identificado aparece na Figura 22. A cadeia foi construída a partir das relações gerais apresentadas na

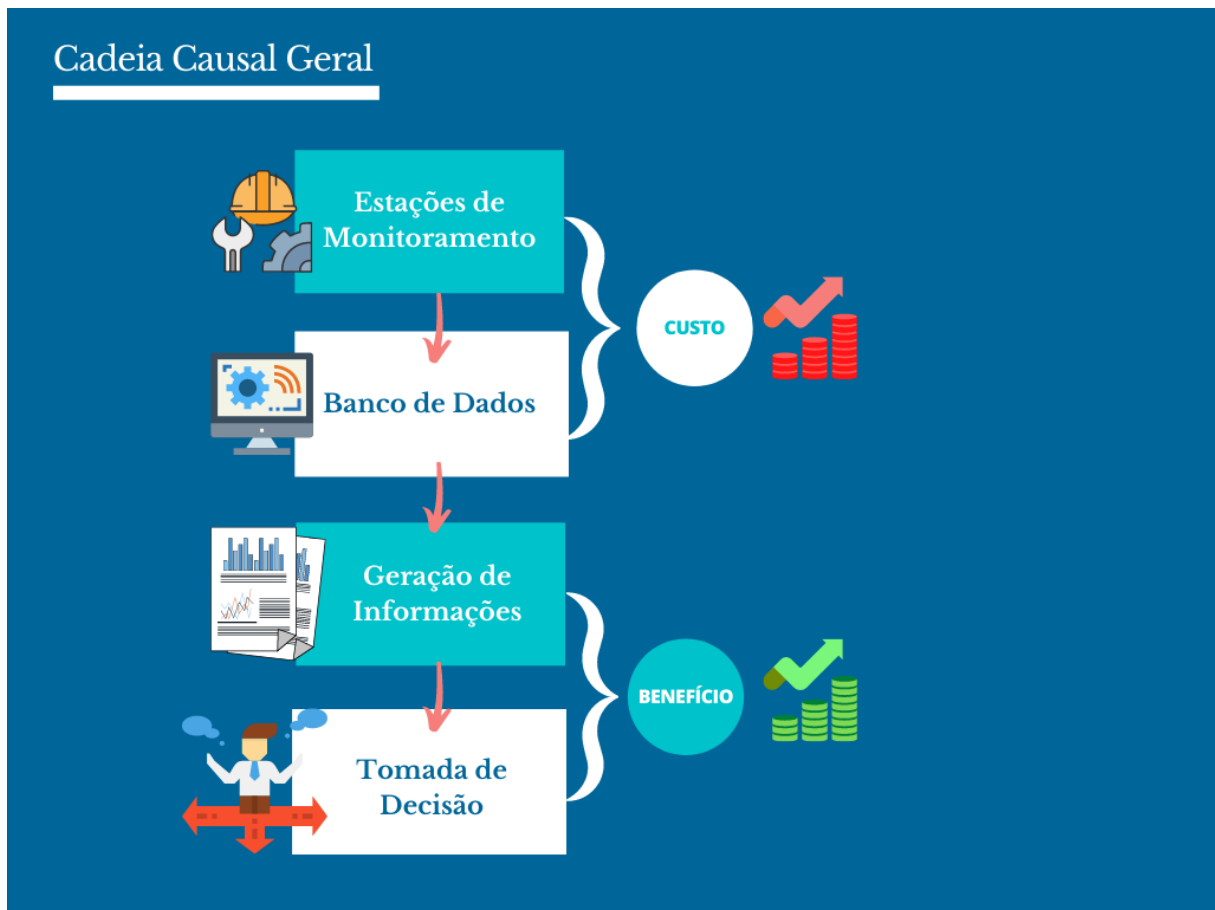


Figura 17, mas detalhando com a tomada de decisão referente a garantia física na venda de energia de projetos de PCHs.

E, por fim, a cadeia apresenta as decisões consequentes ao cálculo da garantia física, quais sejam: definição da motorização da usina, que se traduz na energia que será gerada e em ganho econômico na venda de energia. E, em paralelo, a decisão acerca do percentual da

garantia física que possa ser vendido no mercado livre, em oposição a contratos de longo prazo via leilão de energia nova. Essa decisão está ligada à confiabilidade associada ao conhecimento do comportamento hidrológico do trecho, já que quanto maior é a qualidade da série histórica, maior pode ser o apetite ao risco de apostar na venda de energia no mercado livre, que pode trazer um benefício econômico importante. Cálculo da Garantia Física

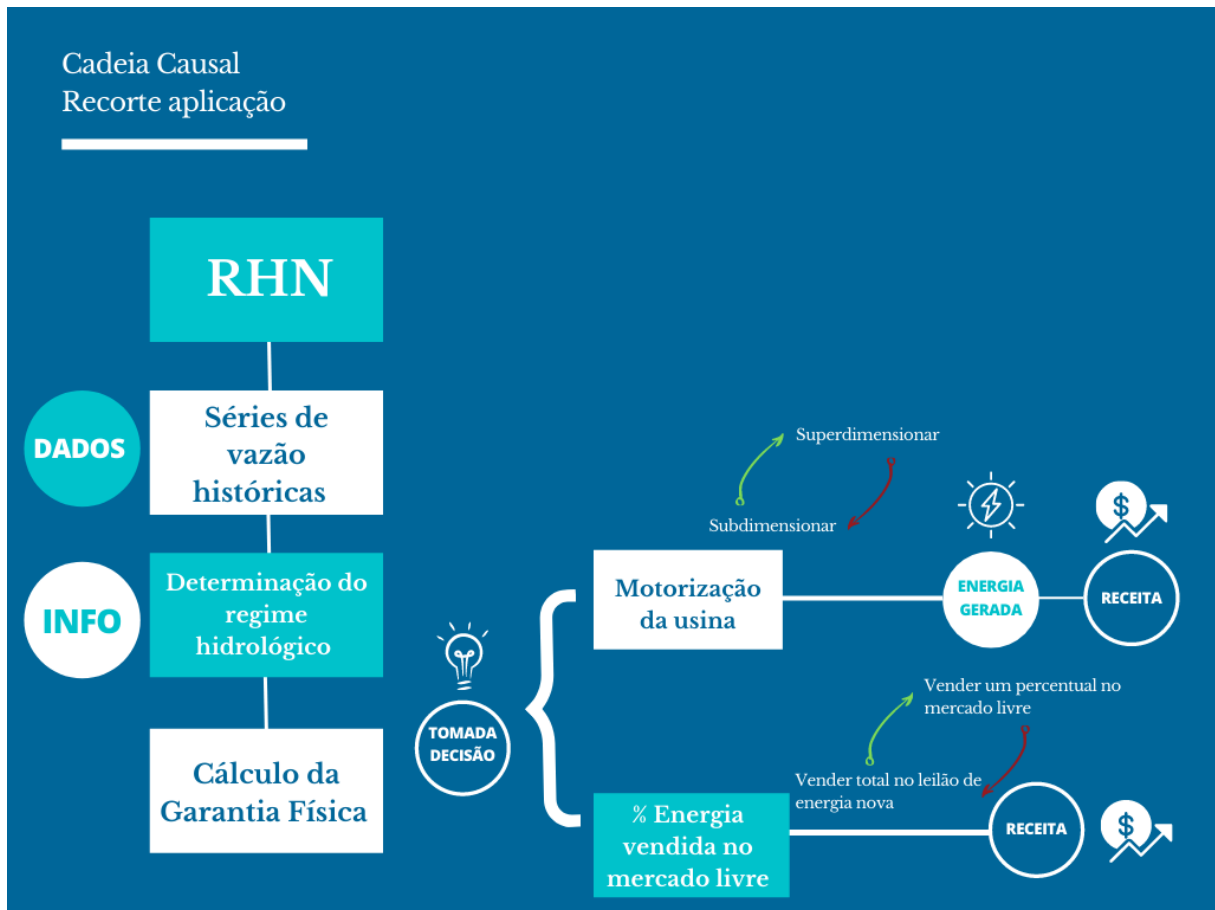


Figura 22 – Cadeia Causal para o recorte de aplicação selecionado: cálculo da garantia física de PCHs.

Na cadeia causal podemos ver refletida a lógica da cadeia causal geral apresentada, mas agora o foco está no mapeamento da tomada de decisão e nos benefícios auferidos a depender o resultado o cálculo da garantia física. Esse benefício pode ser traduzido em termos do prejuízo evitado ao calcular uma garantia física superestimada ou ao lucro auferido ao utilizar o potencial de geração da usina no caso de um subdimensionamento de garantia física.

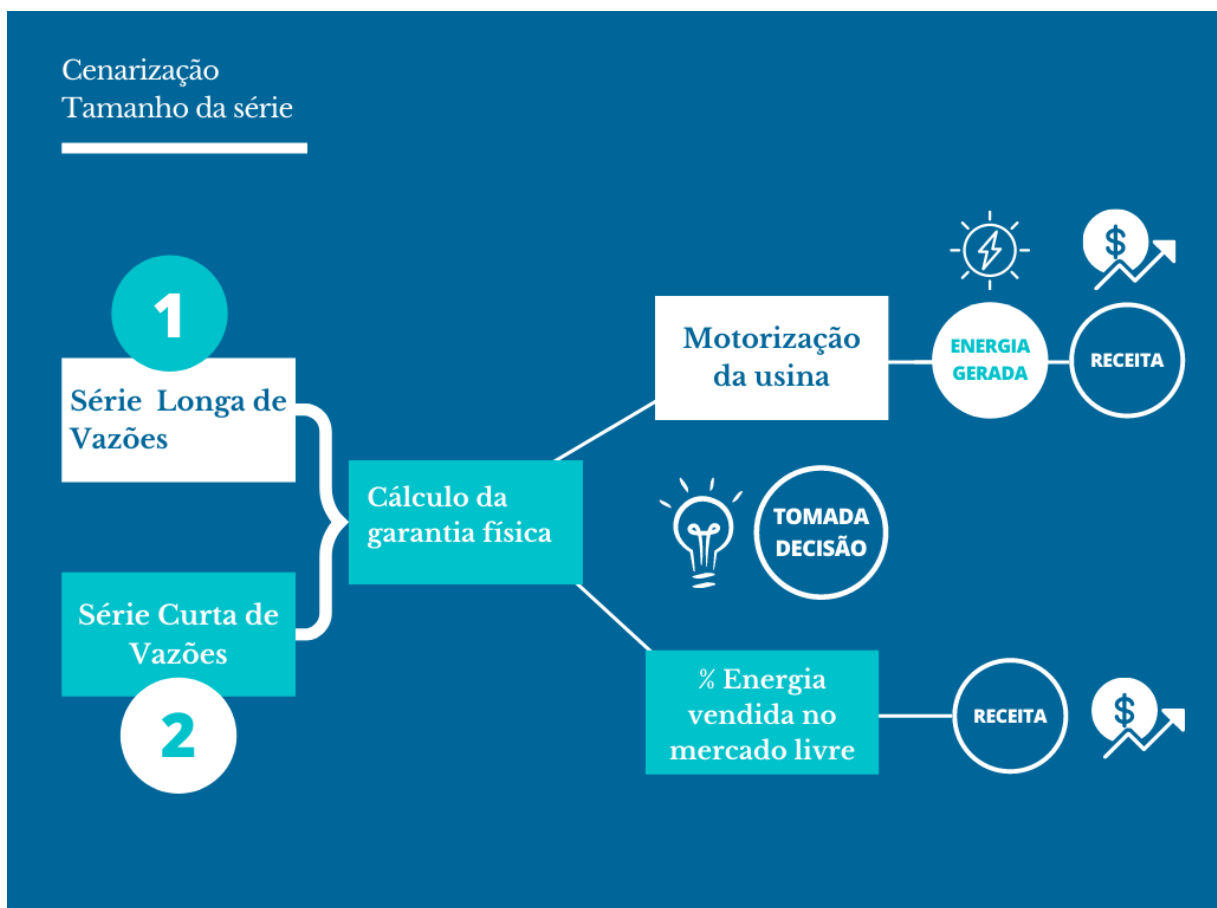
Aqui é importante destacar que uma limitação da análise da cadeia causal diz respeito ao cenário de referência com relação ao qual o benefício foi medido no presente trabalho. Ao invés de estabelecer um dos cenários de dados (Sd80) como o cenário de referência, poderia ter sido realizada uma análise estatística (Montecarlo, por exemplo) para definir qual seria, em

múltiplos cenários, a série mais representativa de vazões para o ponto da usina. Mas aqui optamos por considerar o cenário Sd80 como um cenário suficiente próximo ao cenário mais representativo do comportamento hidrológico do trecho.

As limitações da cadeia serão melhor discutidas no item 5.2, mas de forma resumida a cadeia poderia ser explorada em termos de investigar o potencial diário de geração e o montante de lucro que poderia ser auferido pela correta operação da usina e venda de energia no mercado livre versus a venda em leilão de energia nova. Mas de forma a possibilitar uma análise custo benefício mais objetiva, a cadeia causal foi limitada às decisões centradas na garantia física.

5.2 RESULTADOS DA GARANTIA FÍSICA ENTRE OS CENÁRIOS PROPOSTOS

A partir da série de dados, utilizando os dados provenientes da estação Passo Barra do Guaiaveira (à montante do eixo) com complementação da estação Passo do Prata (à jusante do eixo) foram utilizadas as séries de vazões nos período dos cenários conforme apresentado na



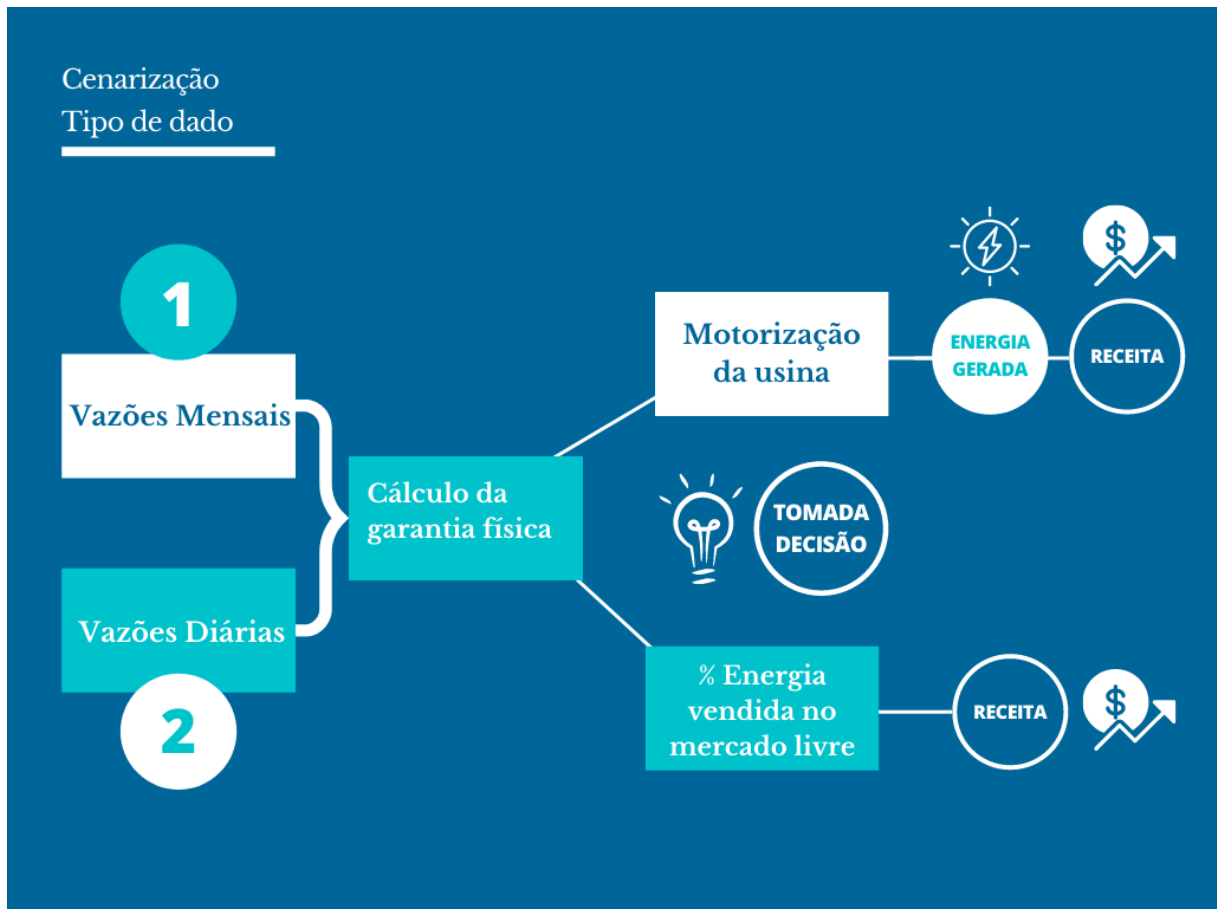


Figura 20, para dar prosseguimento ao cálculo da garantia física no ambiente Excel conforme os dados de projeto já comentados no item 4.6.

Note que na planilha c. (Figura 23), que contém o histórico da potência em cada mês, estão pintados de vermelho os meses em que a potência gerada foi zero, dado o fator limitante da vazão remanescente e turbinável. Também é importante ressaltar que limite de geração é 25MW (considerando as perdas). Com isso é possível visualizar nos meses do histórico como foi o potencial de geração e identificar facilmente os períodos críticos de geração. O memorial de cálculo das planilhas está colocado no Anexo da dissertação.

a. Série de Vazões Afluente													b. Vazões Turbináveis (Diferença - Grammacont), quando a água e engorjamento mínimo de 1 turbinas													c. Potência Gerada no mês												
JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ			
1990	61,92	59,26	46,89	134,75	389,88	241,36	70,91	80,14	138,88	206,73	75,95	80,45	1990	61,88	46,32	45,45	130,51	384,64	236,82	66,67	25,90	131,64	202,40	73,71	80,21	2225,4	14624,9	14933,8	23000	25000	25000	24933,8	8544,36	25000	25000	25000	25000	12704,4

Figura 23 – Série de vazões usada para o cálculo da garantia física no cenário de vazões mensais no intervalo de 1990-2019. A=a. série de vazões da estação, b. vazões turbináveis, c. potência gerada no mês. Uma escala de cores foi utilizada para categorizar a potência gerada no mês ou dia, sendo o vermelho a potência zero por não ter atingido o mínimo turbinável a cor verde quanto atingiu o limite da potência máxima instalada de 25MW, valores em amarelo e laranja são valores intermediários entre esses limites de geração.

Diferentes séries de dados resultam em um melhor, ou pior, conhecimento sobre o comportamento da variável aleatória. Para melhor entendermos estas diferenças, as curvas de permanência para as diferentes vazões são apresentadas nos gráficos Gráfico 1 (para vazões mensais) e Gráfico 2 (para vazões diárias). A curva de permanência foi traçada usando a função PERCENTIL do Excel, ou seja, ordenando as vazões da série histórica conforme a sua probabilidade de ser igualada ou superada no tempo da respectiva série.

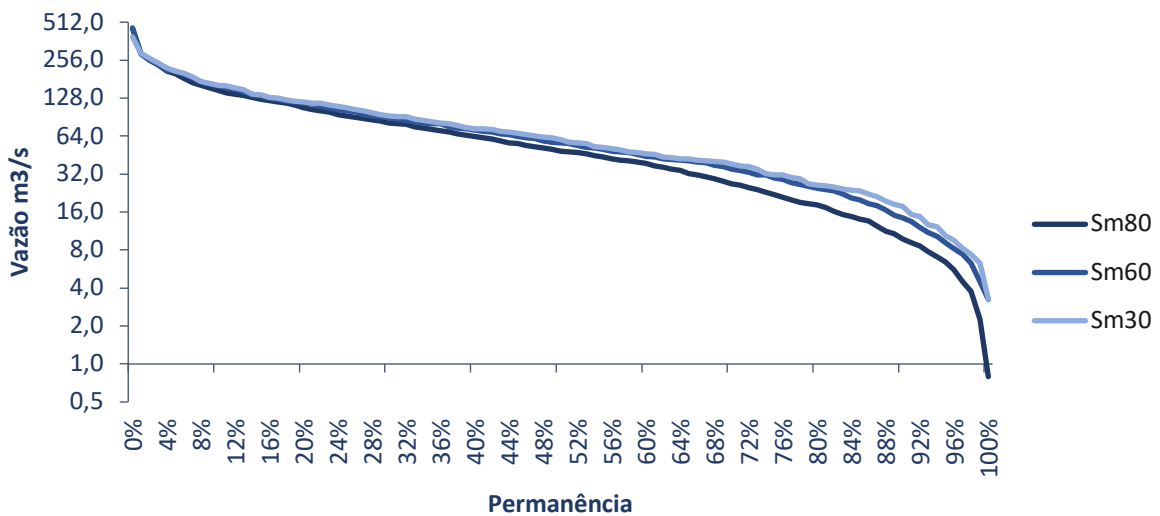


Gráfico 1 – Curva de permanência das séries de vazões mensais (cenários Sm80,Sm60 e Sm30).

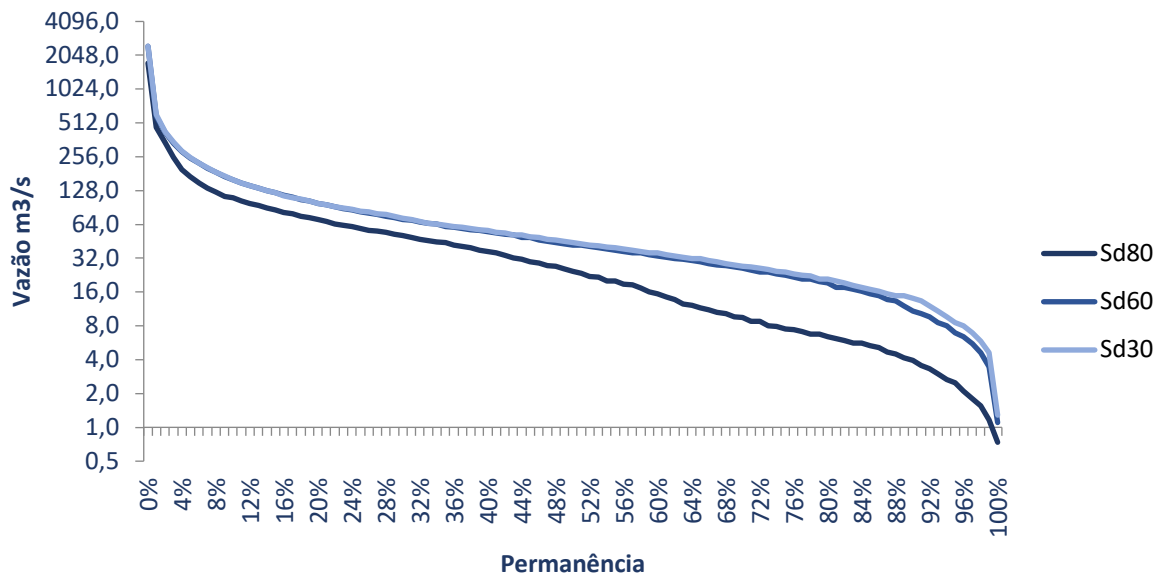


Gráfico 2 – Curva de permanência das séries de vazões diárias (cenários Sd80,Sd60 e Sd30).

A partir das vazões dos históricos provenientes das estações e das relativas potências realizadas nesse histórico foi possível construir a curva de permanência de cada uma dessas variáveis, sendo o destaque para o propósito da dissertação a curva de **permanência de potência**, apresentada no Gráfico 3.

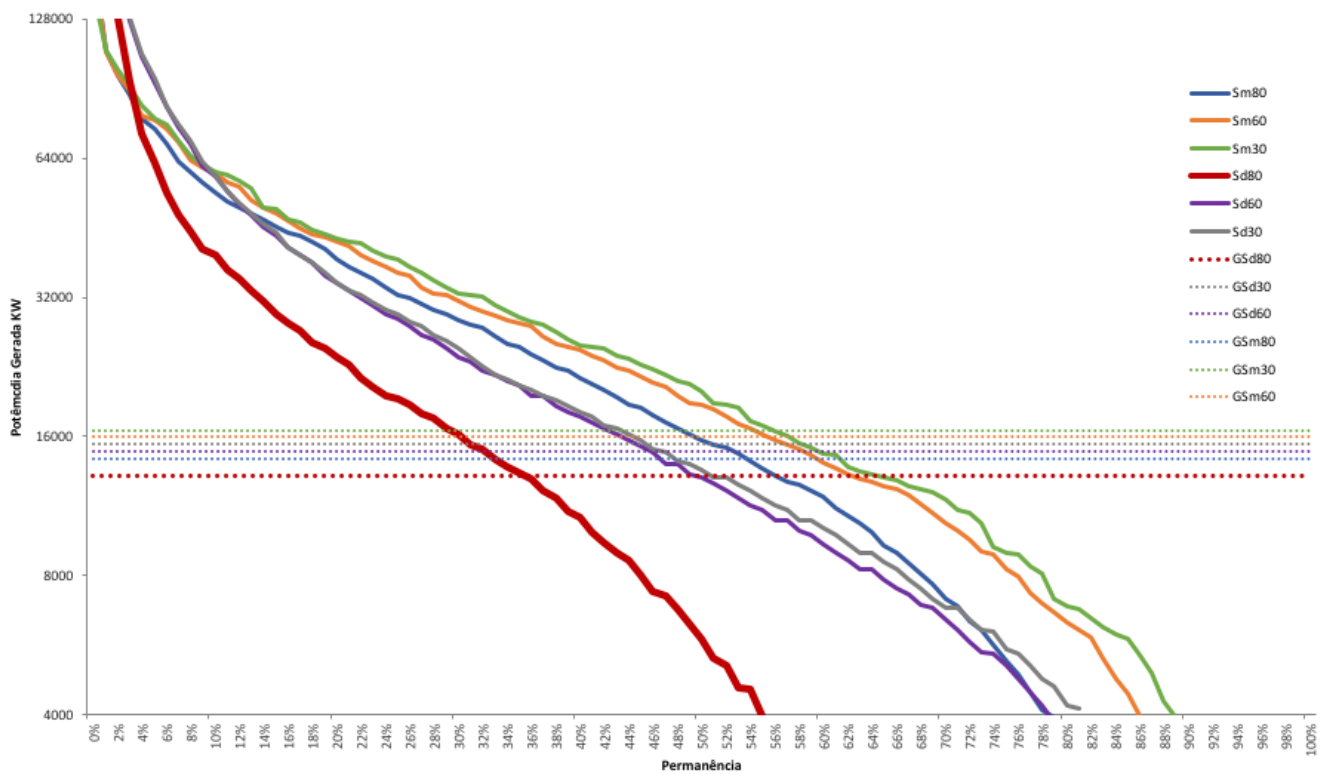


Gráfico 3 – Curva de permanência da potência turbinada (em kW) em cada cenário, frente à a garantia física calculada considerando séries mensais de vazão nos seis cenários de tamanho da série e qualidade da

série (dados diários e mensais): Sd30, Sd60, Sd80, Sm30, Sm60 e Sm80. S para Série, d= dados diários, 30= série 30 anos (1990-2019); 60=série 60 anos (1969-1990); 80= série 80 anos (1940-2019). Em pontilhado estão as Garantias Físicas calculadas em cada um dos respectivos cenários. O cenário de referência considerado para o propósito dessa dissertação está em vermelho (SD80).

Explorando a metodologia descrita no 4.7, a análise de confiabilidade entre os cenários foi feita da seguinte forma:

- Determinação da permanência da garantia física (MWMed) na curva correspondente à serie de vazões .
- Leva a garantia física do cenário para a série de referência (Sd80), e verifica a permanência corresponde a essa série.
- Compara as duas probabilidades de excedência. A diferença entre a permanência original e a permanência com base no cenário de referência é o “erro” em termos de sub ou super estimativa dessa garantia física calculada.

Na Figura 24 estão apresentados os resultados de Garantia Física para cada um dos seis cenários bem como a análise das permanências.

Resultados Garantia Física (em MWmédio) Cenarização e análise das permanências							
		(80 anos) 1940-2019	(60 anos) 1969-2019	(30 anos) 1990-2019			
(Sd)	Série de vazões mensais	14,37	16,49	15,94			
(Sm)	Série de vazões diárias	13,11	15,44	14,87			
		Sd80	Sd60	Sd30	Sm80	Sm60	Sm30
	Permanência	36%	46%	45%	54%	56%	56%
	Permanência considerando cenário de referência (Sd80)	36%	32%	31%	33%	30%	29%

Figura 24 – Resultado da garantia física (MW médio) nos três cenários de intervalo de dados e diferenciando a qualidade do dado entre dado diário ou mensal.

É possível perceber que, para os dados utilizados neste trabalho, quanto mais longa a série, menor a permanência de uma dada vazão, o que indica que as séries mais curtas não incluem tantos períodos críticos quanto as séries mais longas, podendo levar a uma superestimativa na garantia física.

Houve diferença significativa (de 9,6% a 25,8%) no cálculo da garantia física nos cenários simulados, com valores superestimados em todos os cenários de dados, comparados com a garantia física estimada pelo cenário de referência. Com base nessa análise foi possível verificar que a maior permanência, isto é, a garantia física que retorna uma maior confiabilidade de que a potência seja igualada ou superada na série é a garantia da série de referência (Sd80).

Isso implica dizer que, embora as demais séries tenham gerado garantias físicas maiores, o risco também é maior uma vez que a confiabilidade é menor. Em outras palavras, as séries mais curtas, ou com dados de vazão mensal e não diário, geram garantias físicas aparentemente maiores, no entanto, ao serem comparadas com a série de referência (Sd80), apresentam uma permanência menor. Este resultado indica que o cálculo da garantia física com as demais séries apresenta maior incerteza se comparada à série de referência.

Vamos usar um exemplo narrativo para ilustrar as observações que podem ser feitas a partir dos resultados de cada cenário. O que acontece com a garantia física ao variarmos de um cenário pro outro? A ideia dos cenários é supor que um empreendedor teria acesso a uma determinada série de dados. Digamos que o empreendedor calculasse a garantia física da sua PCH usando uma série mensal de 30 anos, o valor que ele obterá é de 15,94 MWMed, com 56% de permanência, em tese. Porém, se observarmos na curva de permanência da série de referência, a permanência cai para 29% do tempo, ou seja, o empreendedor provavelmente superestimou a sua garantia física, e conseqüentemente dimensionou as turbinas e o modelo de contrato em uma expectativa irreal de geração.

No entanto, tendo acesso à série mais longa, de 80 anos mensal, a energia estimada é de 14,37, que na série de referência tem uma garantia (permanência) de 54%, com permanência em comparação à série de referência de 33%. Ou seja, a garantia física diminuiu, o valor a ser vendido é menor, mas a confiabilidade relativa à potência gerada aumentada, e esse aumento da confiabilidade se deu em razão da maior qualidade dos dados de vazão disponíveis para a caracterização hidrológica do empreendimento.

Um ponto importante a considerar diz respeito a como as mudanças climáticas podem afetar o risco a tomada de decisão (STERN, 2006). A academia tem questionado muito evidência a cerca da não-estacionariedade das séries hidrológicas, relacionando essa mudança às alterações do clima Marengo (2008), Milly (2005) e Collischonn, Tucci & Clarke (2001). Embora esse aspecto não esteja incluído no escopo do presente trabalho, esse viés de adaptação na cenarização é um ponto importante de ser discutido, já que as mudanças climáticas podem ser grandes estressores da disponibilidade hídrica em um futuro próximo.

Por fim, outro resultado gerado com base na cadeia causal do recorte selecionado diz respeito à decisão acerca da motorização. Retomando a conceituação discutida no item 3.13.4 e no item 4.6.2, a decisão de motorização é tomada levando em consideração a garantia física obtida com o desenho proposto e o custo dessa motorização, o que pode resultar em um impacto alto no fluxo de caixa do projeto ou na possibilidade de aproveitar ao máximo momentos de vazão afluyente alta.

É possível verificar que a decisão quanto à motorização é bastante impactada pelo uso da série de vazões. É importante ressaltar que, por se tratar de uma escolha iterativa, isto é, aa depender da série e do resultado o empreendedor pode optar por redefinir a motorização, retornando a prancheta para redimensionar o número de turbinas para aproveitar a garantia física calculada. Um número maior de turbinas implica num custo maior, o que impacta o fluxo de caixa do empreendimento. Uma vez que a análise custo benefício associada a essa decisão necessitaria de informações do fluxo de caixa e modalidade de financiamento do empreendimento, essa análise não será quantificada para fins de estabelecer a relação custo benefício. A presente dissertação se limitou a apresentar as diferenças na garantia física ao selecionar a motorização da PCH.

Resultados Garantia Física (em MW médio) Motorização						
	Sd80	Sd60	Sd30	Sm80	Sm60	Sm30
2 turbinas	12,54	14,26	14,82	13,88	15,48	16
3 turbinas	13,11	14,87	15,44	14,37	15,94	16,49
4 turbinas	13,33	15,08	15,64	14,55	16,06	16,60
Diferença	Sd80-Sd60	Sd80-Sd30	Sd80-Sm80	Sd80-Sm60	Sd80-Sm30	
2 turbinas	-1.72	-2.28	-1.34	-2.94	-3.46	
3 turbinas	-1.76	-2.33	-1.26	-2.83	-3.38	
4 turbinas	-1.86	-2.42	-1.33	-2.84	-3.38	

Figura 25 – Resultado da garantia física (MW médio) nos seis cenários, considerando três possibilidade de motorização: duas, três e quatro turbinas. No segundo quadro está colocada a diferença entre os cenários (delta).

Verificamos uma diferença no valor da garantia física ao utilizar dado menos representativo (series mais curtas e com menos refinamento). A diferença é sempre para mais, ou seja, as series mais curtas e menos refinadas tenderam a superestimar a garantia física. Isso é, provavelmente, fruto do fato de que as series mais curtas não incluem tantos períodos críticos quanto as mais longas (isso pode ser verificado estatisticamente).

É interessante notar, que a superestimava aumenta com o número de turbinas, ou seja, ao optar por mais turbinas, a qualidade da informação hidrometeorológica é ainda mais importante, dado o limite de 4 turbinas. Em outras palavras, a decisão pela seleção de 3 turbinas ao invés de 2 só é possível dada a qualidade do dado de série de vazões uma vez que o delta auferido entre o desenho de 2 turbinas e 3 turbinas precisa ser maior que o custo. Essa decisão precisa ser sustentada com um dado de qualidade por isso impacta diretamente na sustentabilidade financeira do projeto da PCH.

Outro aspecto que merece discussão é com relação à investigação quanto à qualidade do dado. Os cenários considerando o impacto dos dados diários e mensais estabeleceu uma diferença significativa na garantia física. Mas, além disso, a disponibilidade de dados horários de vazão, é especialmente importante para o segmento de geração hidrelétrica sobretudo em rios com grande variabilidade como na bacia do Taquari-Antas. Esses resultados reforçam a importância de iniciativas como a RHNR, que como foi mencionado na revisão, objetiva alcançar uma maior qualidade dos dados provenientes da rede.

Antes de apresentar os resultados da análise custo benefício, terminamos essa seção com um resumo dos principais resultados encontrados a partir da aplicação da metodologia de cenarização com base na cadeia causal:

- Há diferença expressiva (de 9,6% a 25,8%) no cálculo de garantia física em cada um dos cenários de tipo de série utilizada;
- A série referência (Sd80) apresentou maior permanência e isso pode ser relacionado à confiabilidade de que as potências sejam igualadas ou superadas em um período razoável na série;
- O delta, ou seja, a distância entre as linhas relativas à garantia física simulada e o cenário de referência (Sd80) serão os parâmetros para estabelecer os ganhos ou as perdas em termos de energia em cada um dos cenários;
- A escolha da motorização também tem um impacto relevante a depender do cenário de vazões históricas utilizado. Mas, por ser um cálculo iterativo, as diferenças não serão quantificadas para fins de análise custo benefício. Os resultados apenas sustentam a relevância da qualidade da série para a tomada de decisão de projeto quanto à motorização;

5.3 ACB PARA A GARANTIA FÍSICA DE PCHS

Para a análise do objetivo central da presente dissertação: a relação custo benefício da rede para a tipologia de uso identificada, é importante definir o conceito de “benefício econômico” que sustentou a metodologia de análise custo benefício. O benefício econômico foi definido como a diferença obtida entre os cenários avaliados, ou seja, o benefício associado à diferença no resultado da tomada de diferentes decisões, a partir de diferentes dados hidrometeorológicos proveniente da rede (nesse caso, o histórico de vazão). Quando a diferença é positiva (o cenário resulta em maior garantia física que o cenário de referência) a garantia física é superestimada, e um contrato de venda de energia baseado neste valor pode

resultar na necessidade de aquisição da diferença pelo empreendedor, aos valores de mercado de curto prazo da energia. Neste caso, o benefício é a redução, ou eliminação, da perda econômica associada e esta superestimativa. Quando a diferença é negativa (o cenário resulta em menor garantia física que o cenário de referência) a garantia física é subestimada, e um contrato de venda de energia baseado neste valor pode resultar na perda dos ganhos possíveis com um contrato para entregar mais energia. Neste caso, o benefício é a redução, ou eliminação da perdas destes ganhos. O maior e menor delta foram calculados para obter uma *faixa* de benefícios auferidos.

Na Figura 26 está esquematizado o cálculo para a análise custo benefício. Tomando como referência de garantia física o cenário Sd80 (série de dados diários de vazão em um intervalo de 80 anos), foram calculadas as diferenças de garantia física obtida. Repisando que o cenário Sd80 foi escolhido por ser o mais longo e o mais refinado, o que resulta em menor incerteza na estimativa das vazões.



Figura 26 – Análise Custo Benefício (em reais) considerando o recorte de aplicação da PCH Primavera do Turvo, nos seis cenários de dados propostos.

A maior e menor diferença (ou delta) de garantia física foram transformadas em benefício econômico ao multiplicar o valor do delta considerando um contrato de leilão de energia nova de 30 anos, a um valor médio de 125 R\$/MWméd/h, conforme fundamentado no item 3.13.2. Sob o ponto de vista de custo, o custo médio anual de 3800 reais foi multiplicado pelo tempo da série utilizada para o cenário de referência (80 anos) e pelo número de estações utilizada, resultando na estimativa de custo da série histórica de vazão total.

Assim, foi possível estimar um benefício econômico ao dado hidrometeorológico (o incremento de benefício entre ter ou não ter o dado) e o custo de obtenção desse dado. Ressaltando que, para o objetivo da presente dissertação, há uma evidente diferença entre determinar quanto “custa” a rede e quanto a rede “vale”. Por isso, se partiu da lógica do benefício auferido entre cenários em que diferentes qualidades de dado estão disponíveis.

Por fim, com o objetivo de obter uma relação do custo benefício considerando a cascata de usinas do inventário, os resultados de benefício econômico e custos por estação foram extrapolados considerando esses empreendimentos. Conforme apresentado na **Figura 21**, o trecho do inventário (Despacho Nº 3.901 ANEEL/2012) no rio Turvo, bacia do Taquari Antas, além da PCH Primavera, objeto de estudo do presente trabalho, conta com mais 13 aproveitamentos, que juntos somam um potencial identificado no referido trecho de 69,4 MW.

Ainda, as estações disponíveis no trecho para composição do histórico de vazões e consequente cálculo da garantia física de cada uma das usinas são nove. É importante ressaltar, que devido a esses empreendimentos não estarem na mesma fase da ANEEL, os cenários não foram gerados para cada uma das usinas da cascata. No entanto, o objetivo foi ter um valor comparativo do número de estações disponíveis no trecho do rio versus a respectiva cascata de usinas inventariada em termos de escala de custo benefício.

Na Figura 27 está esquematizada a metodologia de extrapolação linear fundamentada no item 4.8. Uma vez que os resultados obtidos para a PCH primavera trazem cifras bastante expressivas em termos de relação custo-benefício, as naturais limitações advindas dessa extrapolação se tornam irrelevantes para o propósito da dissertação.



Figura 27 – Análise Custo Benefício (em reais) considerando a extrapolação linear dos resultados obtidos para o recorte de aplicação para o trecho inventariado.

Finalmente, partindo dos cálculos de benefício auferido em termos de garantia física com base na série histórica de vazão de referência, em comparação com os demais cenários calculados e tendo como princípio as decisões mapeadas na cadeia causal, chegamos na análise custo benefício propriamente dita. Na Figura 28 estão apresentadas as relações custo benefício para o recorte de aplicação (cenários rodados para a PCH Primavera) e as relações custo benefício extrapoladas para o trecho inventariado, sempre considerando dois valores: a maior diferença incremental calculada em relação a série de referência, e a menor.

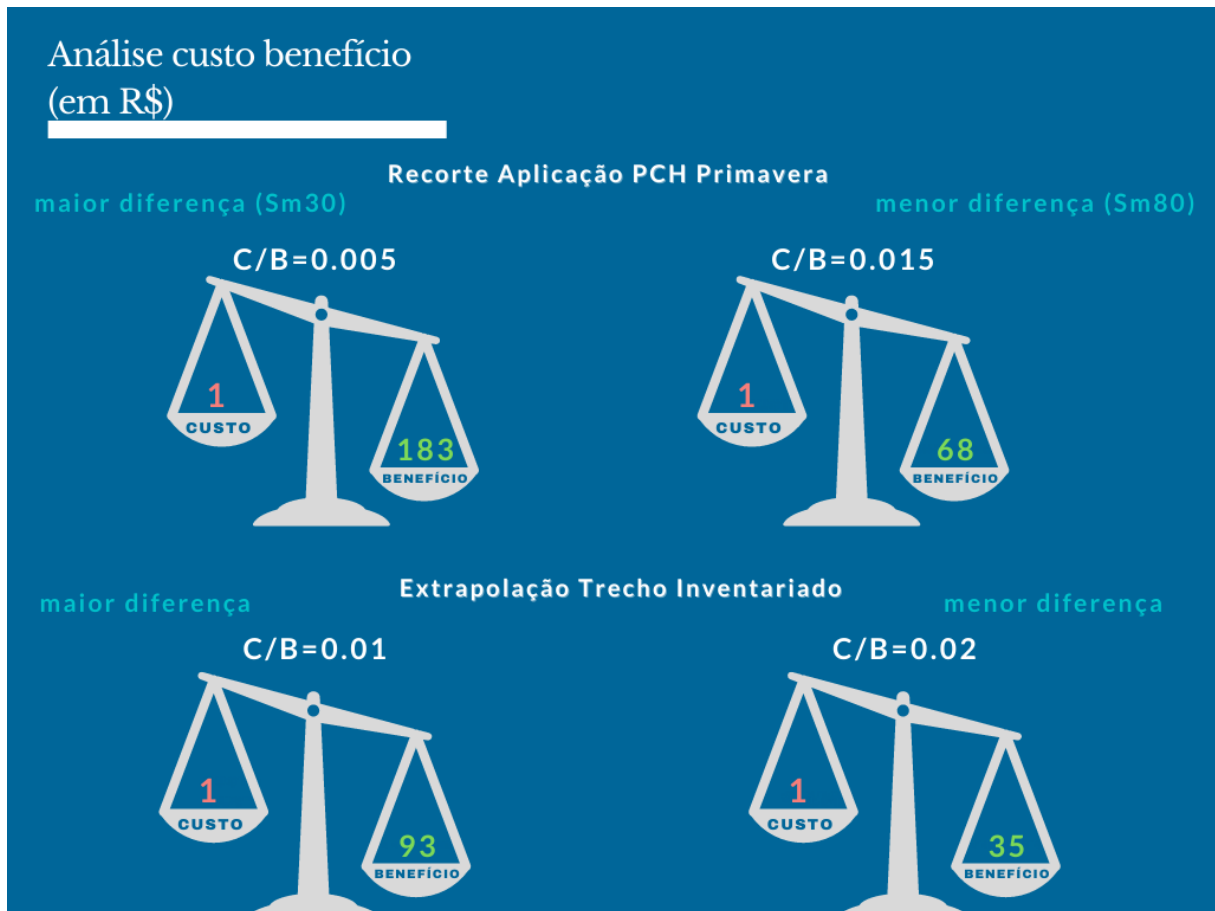


Figura 28 – Resultado global da análise custo benefício para o recorte de aplicação e para a extrapolação para o trecho inventariado. À esquerda, a relação CB considerando o cenário com maior diferença para o cenário de referência. À direita, o cenário considerando a menor diferença para o cenário de referência.

Aqui cabe uma breve discussão sobre os valores calculados. Ainda na revisão bibliográfica, foi comentado que em Cho *et. al.* (2017) há uma estimativa de valor de benefício da ordem de 4 para 1. Comparando com o benefício estimado no presente trabalho verificamos que foi obtido uma relação menor, ou seja, um benefício maior relativo ao custo. Embora a relação custo benefício obtida no presente trabalho já possibilite um argumento de manutenção e corroboração dos investimentos, é importante repisar que o Projeto da RHN objetiva investigar essa relação em outros recortes de aplicação, para uma análise mais robusta e abrangente do valor do dado hidrometeorológico no Brasil.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho lançou um olhar inédito sobre a Rede, avançando de uma análise meramente quantitativa da cobertura de dados e respectivo custo global, para um inventário robusto do custo e benefício para um recorte de uso definido. A partir da metodologia aplicada, foi explorada o que é a Rede, como ela é operada, qual o custo envolvido nessa operação, quem utiliza esse dado e quais decisões são tomadas tendo como base os dados provenientes da Rede.

A hipótese de que uma maior qualidade (em termos de tamanho da série e periodicidade dos dados) dos dados hidrometeorológicos subsidiaria a melhor tomada de decisão com relação à garantia física de PCHs foi confirmada, com a confiabilidade de seis diferentes cenários de vazão sendo comparados entre si no sentido de identificar o cenário de referência que apresentou a maior permanência. A confiabilidade foi definida em termos da maior permanência da garantia firme.

Os resultados demonstram que o tipo de série de vazão utilizado interfere significativamente (até 25,8%) no valor final de garantia física. Os resultados também demonstram uma diferença na confiabilidade da garantia física de até 20%. A partir do cenário de referência e os deltas calculados nos demais cenários foi possível realizar uma análise custo benefício.

Cada real gasto no custeio da Rede nesse intervalo de 80 anos correspondeu a um potencial de benefício auferido em termos de energia vendida de 180 reais no cenário com maior diferença 68 reais no cenário com menor diferença (em relação ao cenário de referência). Foram apontados também benefícios em termos de apoio à decisão de motorização da PCH e também do percentual que poderá ser vendido no mercado livre de energia.

De modo geral, a dissertação foi capaz de estabelecer uma relação causal entre os dados provenientes da Rede, a tomada de decisão por parte dos usuários desse dado e determinar, através da análise custo benefício proposta, o valor dos dados hidrometeorológicos da Rede. Nesse contexto, portanto, os resultados obtidos subsidiam a tomada de decisão não apenas da Agência Nacional de Águas, mas dos governos estaduais que também são responsáveis pela gestão de suas redes, uma vez que os resultados obtidos podem ser extrapolados para um recorte de Estado, município, bacia hidrográfica, entre outros.

Os resultados da presente dissertação são um primeiro olhar, no âmbito de um projeto maior de inventário e custo benefício da Rede, de avaliação do valor da rede de dados hidrometeorológicos em um recorte, neste caso o cálculo da garantia física de PCHs. Foi

possível estabelecer a relação entre custo e benefício, em que o benefício auferido foi definido como a diferença entre a garantia física nos cenários e a garantia física do cenário de referência (série de vazões diárias em um intervalo de 80 anos).

Dessa forma, o impacto das informações de inventário geral da Rede, recorte de custos, demanda pelo uso dos dados e custo benefício associado a esses dados é bastante significativos. Uma vez que é sabido que atualmente as redes são geridas sem um embasamento robusto com viés de economia de recursos hídricos. Portanto, a expectativa é que os resultados e análises explorados na presente dissertação inaugurem um novo paradigma da gestão da Rede, agora com a referência de análises custo benefício.

A partir dos resultados, é possível identificar potencial não apenas da aplicação da mesma metodologia para outros segmentos de uso dos dados, como para outros recortes territoriais e também de gestão, como o nível subnacional de gestão das Redes, por exemplo. A partir desse trabalho fica clara a possibilidade de avaliar a Rede em termos do benefício auferido pelos dados que são gerados, em contraste aos custos envolvidos.

É importante ressaltar, por fim, que o Projeto o qual esta dissertação integra segue em andamento, com expectativa de conclusão em 2022. Os demais cadernos, ainda em elaboração, poderão trazer luz à relação custo benefício em outros recortes de aplicação, de modo a prover uma análise mais robusta e abrangente do valor econômico do dado hidrometeorológico proveniente da Rede. Ao final do Projeto, será possível enxergar um amplo panorama dos custos, usos e benefícios relacionados à Rede Hidrometeorológica Nacional.

7 UM OLHAR PARA O FUTURO

Esta seção foi incluída com base nas reflexões propostas e discutidas na banca de defesa da presente dissertação. O olhar é em relação ao que os resultados aqui apresentados podem contribuir em termos do planejamento futuro da Rede. Conforme comentado, uma análise custo benefício é aplicada para planejar investimento futuros ou justificar investimentos já realizados. A metodologia proposta investigou a configuração atual da rede, em termos de custos e benefícios. Mas, ao olharmos para o futuro da gestão das Redes no Brasil, os resultados já obtidos iluminam algumas questões, quais sejam:

- Mais visibilidade e transparência

Uma das sugestões é a criação de um Sistema de Informação da Rede incluindo cadeia causal de usos, custos e benefícios. Esse tipo de iniciativa promove mais visibilidade e transparência para gestão da Rede, contribuindo para sua preservação.

- Racionalização de investimentos na RHN

Outro ponto observador é que Normas nacionais e sub nacionais que trazem a exigência de instalar e operar estações não incluem uma fundamentação em análise custo benefício (Ex. ANEEL ANA 03/2010 e CRH RS 263/2017). Resultados de pesquisas como esta podem suprir essa lacuna.

- Sustentabilidade financeira da RHN

A partir dos resultados aqui apresentados, é possível promover uma investigação de novos parceiros para operação da Rede: Companhias de abastecimento, segmento Agro, segmento de infraestrutura viária, entre outros, à exemplo do Setor Elétrico.

- Transição para novas tecnologias

A partir de uma rede qualificada será possível validar outras formas de medição (satelital por exemplo). Esse tipo de benefício pode integrar futuras análises.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, O.E.C. Informação hidrometeorológica na regulação do setor elétrico brasileiro: indicadores de avaliação de disponibilidade hídrica. Relatório Final de Projeto de Pesquisa – Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade da Água. PNQA Agência Nacional de Águas – ANA Outubro. (2009).

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água. (2017). Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/textos-das-paginas-do-portal/rede-nacional-de-monitoramento-de-qualidade-da-agua>. Acessado em 20 de novembro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Relatório Anual de Gestão. Brasília. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Relatório Anual de Gestão. Brasília. 2019

ALMEIDA, K.C.B. Avaliação da rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais da bacia do rio das velhas utilizando o método da entropia. Dissertação (mestrado). Programa de pós-graduação em saneamento, Meio ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2013.

ALTIERI, Rui. Metas e tarefas do setor elétrico para 2021. Revista Exame. Disponível em : <https://exame.com/bussola/metas-e-tarefas-do-setor-eletrico-para-2021/>. Consultado em janeiro de 2021.

ANDERSON, Glen *et. al.* Valuing weather and climate: Economic assessment of meteorological and hydrological services. The World Bank, 2015.

ANEEL, Resolução Normativa Nº 875, de 10 de março de 2020. Estabelece os requisitos e procedimentos necessários à aprovação dos Estudos de Inventário Hidrelétrico de bacias hidrográficas, à obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamentos hidrelétricos, à comunicação de implantação de Central Geradora Hidrelétrica com Capacidade

Instalada Reduzida e à aprovação de Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica e Projeto Básico de Usina Hidrelétrica sujeita à concessão. Brasília, 2020.

AQUATIC INFORMATICS. Global Hydrological Monitoring Industry Trends. Vancouver: Aquatic Informatics. Disponível em: [http:// www.aquaticinformatics.com](http://www.aquaticinformatics.com). 2015.

ARCISZEWSKA, C.; MCCLATCHEY, J. The importance of meteorological data for modelling air pollution using ADMS-Urban. *Meteorol. Appl.* 8, 345–350 .2001.

BELZ, J. et al. Optimisation of surface water observation networks. In: Hydrological networks for integrated and sustainable water resources management. International Workshop, Koblenz, Germany, 22-23 October 2003. Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2003. p. 115-122.

BENJAMIN, J.R. & CORNELL, A. Probability, statistics, and decision for civil engineers 1917-1998. New York, McGraw-Hill 1970

BLISS, G.S. Importance of Meteorological data in engineering. *Monthly Weather Review*. September, 1912.

BRASIL. Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BURDA, Carla Luisa; POLETTE, Marcus; SCHIAVETTI, Alexandre. Análise da Cadeia Causal para a Criação de Unidade de Conservação: Reserva Extrativista Marinha de Itacaré (BA)-Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 7, n. 1, p. 57-67. 2007.

CAI, Eric. Exploratory Data Analysis: Conceptual Foundations of Empirical Cumulative Distribution Functions. *The Chemical Statistician*. 24 Junho. 2013

Disponível em: <https://chemicalstatistician.wordpress.com/2013/06/24/exploratory-data-analysis-conceptual-foundations-of-empirical-cumulative-distribution-functions/>

CALLEN, J. The Value of Government Weather and Climate Data. 2018. Disponível em <https://www.commerce.gov/news/blog/2014/09/value-government-weather-and-climate-data>. Acessado em 01/11/2018

CARVALHO, Márcio André de. Uma introdução à análise de políticas públicas: análise custo-benefício, árvores de decisão e modelos de multiatributos. Brasília: Anais do XXIX ENANPAD, 2005.

CCEE Treinamento Agentes de Geração Hidráulica. (2012)

Disponível em: http://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_035731

CEMADEN, Estações Hidrológicas, 2019

Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/estacoes-hidrologicas/>

CHAIB, ERICK BRIZON D., ET AL. Avaliação da distribuição espacial da rede de estações pluviométricas da ANA/CPRM na bacia do rio das velhas, MG. 2013.

CHO, A.; FISCHER, A.; DOYLE, M.; LEVY, M.; Kim-Blanco, P.; WEBB, R. The Value of Water Information: Overcoming the Global Data Drought.” Xylem Inc. White Paper, August. 2017. Disponível em: <http://xylem.com/waterdata>.

CLOKE, Peter S.; CORDERY, Ian. The value of streamflow data for storage design. *Water resources research*, v. 29, n. 7, p. 2371-2376, 1993.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: Part of a wider phenomenon of climate change? *Journal of Hydrology*, v. 245, n. 1-4, p. 218-238, 2001.

CRUZ, Jussara Cabral; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

DA COSTA, RICARDO & PIEROBON, ERNESTO. Leilão de Energia Nova: Análise da Sistemática e dos Resultados. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 39-58, mar. 2008

DAWDY, D.R.; KUBIK, H.E.; CLOSE, E.R. Value of Streamflow data for project design – A pilot study. *Water Resources Research*, v.8, n.4. 1970.

DE CASTRO, Nivalde et al. A Formação do preço da energia elétrica: experiências internacionais e o modelo brasileiro. *GESEL, TDSE*, n. 62, 2014.

DOS SANTOS, J. G. R., VESPUCCI, A. G., & BAYER, M. Estações fluviométricas do estado de Goiás: qualificação dos dados hidrológicos disponíveis na base HIDROWEB/ANA. *Ateliê Geográfico*, 10(3), 89-108. 2016.

EASPE. Use and Benefits of the National Weather Service River and Flood Forecasts. National Hydrologic Warning Council. 2002.

EPE. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf

FADEL, A.; NECTOUX, M.; PRADO, T.; ROSA, W. & ZORZI, C. Estratégias para gestão de risco de desastres: um panorama do Estado do Rio Grande do Sul. I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres. Curitiba, 2016.

FEKETE, B.; ULRICH L.; PIETRONIRO, A.; ROBARTS, R.. Rational for Monitoring Discharge on the Ground. *Journal of Hydrometeorology* 13: 1977–86. 2012.

FEKETE, B.; ROBARTS, R.. Time for in Situ Renaissance. *Science* 349(6249): 685–868. 2015.

FIGLIARO, F.A.; BARDINI, V.S.;NOVAES, R.C. Monitoramento da qualidade de águas em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos: estudo de caso no município de São José dos Campos/SP. *Eng Sanit Ambient* | v.22 n.6 | nov/dez 2017 | 1141-1150.2017.

GALVÃO, W. S., & MENESES, P. R. Geração do mapa de potencial à locação de estações na bacia do rio São Francisco como um produto estratégico de apoio às ações de planejamento de redes fluviométricas, através do uso de SIG e do classificador neural supervisionado. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, 12. 2005.

GARDNER, J.; M. DOYLE; L. PATTERSON. Estimating the Value of Public Water Data. 2017. Disponível em: https://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/ni_wp_17-05.pdf.

GIACOMELLI, L.; NECTOUX, M.; FAN, F.; FLEISCHMANN, SIQUEIRA, V.; COLLISCHONN, W.; CUSTODIO, M. Previsão de cheias e produção de avisos no Estado do Rio Grande do Sul através da Sala de Situação SEMA/RS e Modelo MGB. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu (2019).

GLEICK, P. ET AL. Improving Understanding of the Global Hydrological Cycle: Observation and Analysis of the Climate System. In *Climate Science for Serving Society: Research, Modeling and Prediction Priorities*, eds. G R Asrar and J W Hurrell. 2013.

GONTIJO JUNIOR, W. C., and S. KOIDE. Análise das metodologias para avaliação e dimensionamento de redes fluviométricas. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: 1-20. 2007.

GUPTA, V. K., & SOROOSHIAN, S. The relationship between data and the precision of parameter estimates of hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 81(1-2), 57-77. 1985.

HAIMES, Y. Y., CRAIG, J. A., & SUBRAHMANIAN, J. The worth of streamflow data in water resources planning: Computational results. *Water Resources Research*, 15(6), 1335-1342. 1979.

JEULAND, Marc et al. The economic impacts of water information systems: A systematic review. *Water Resources and Economics*, v. 26, p. 100128, 2019.

JÚNIOR, Pedro dos Santos Portugal; PORTUGAL, NILTON DOS SANTOS; ABREU, Gustavo Andrade. Valoração econômica ambiental: um estudo analítico e teórico dos métodos

e suas multiaplicabilidades. *Revista Catarinense da Ciência Contábil*, v. 11, n. 33, p. 22-34, 2012.

KADOM, N., ITRI, J. N., TROFIMOVA, A., OTERO, H. J., & HORNY, M. (2019). Cost-effectiveness analysis: an overview of key concepts, recommendations, controversies, and pitfalls. *Academic radiology*, 26(4), 534-541.

KAPLINSKY, Raphael; MORRIS, Mike. *A handbook for value chain research*. Brighton: University of Sussex, Institute of Development Studies, 2000.

LEITE, E.A. *Gestão do valor da informação hidrometeorológica: O caso dos alertas de inundação para proteção de bens móveis em edificações residenciais de União da Vitória*. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008.

LEVIKANGAS, P.; HAUTALA, R. Benefits and value of meteorological information services– the case of the Finnish Meteorological Institute. *Meteorol. Appl.* 16: 369–379 .2009.

MARENGO, José Antônio. *Água e mudanças climáticas*. *Estudos avançados*, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MARQUES, Marcia. *Análise da cadeia causal da degradação dos recursos hídricos: Proposta de modelo conceitual do projeto GIWA UNEP/GEF*. *SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE*, v. 2, 2002.

MARQUES, G.F.; NECTOUX, M., POSSANTI, I., INADA, M., FINCK, J. *Inventário e Avaliação de Custos e Benefícios da Rede Hidrometeorológica Nacional e da Rede Nacional de Qualidade de Água*. Relatório preliminar, Caderno 2, Projeto de Pesquisa APQ 404242/2019-7, 2021.

MELATI, Maurício Dambrós; MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha. *Especialização da recomendação de novas estações pluviométricas na sub-bacia 87 segundo os critérios de densidade da Organização Mundial de Meteorologia*. 2015.

MILLY, P. C. D. et al. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, v.438, 347-50, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; Portaria do Ministério de Minas e Energia N°463, de 03 de dezembro de 2009. Brasília. 2009.

MISHRA, Ashok K.; COULIBALY, Paulin. Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics*, v. 47, n. 2, 2009.

NECTOUX, MARCELA, FADEL, AMANDA & GIACOMELLI, LUCAS A resolução conjunta ANA/ANEEL N° 03/2010 como ferramenta de aprimoramento do monitoramento hidrometeorológico do rio grande do sul. *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Florianópolis (2017).

NETO, A. R., DA SILVA, R. C. V., COLLISCHONN, W., & TUCCI, C. E. Simulação na bacia Amazônica com dados limitados: rio Madeira. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 13(3), 47-58. 2008.

NETO, Monzoni; PRESTES, Mario. *Análise dos custos e benefícios das políticas públicas: o caso dos instrumentos econômicos para gestão ambiental*. 2018.

OECD (2015), *Governança dos Recursos Hídricos no Brasil*, OECD Publishing, Paris.

OLIVEIRA, L., & CANELLAS, A. V. B. Importância de dados hidrometeorológicos confiáveis no gerenciamento de recursos hídricos. *Simpósio de Gestão de Recursos Hídricos de Gramado, Gramado/RS, Brasil*. 1999.

PEDROLLO, MÁRCIA CONCEIÇÃO RODRIGUES et al. *Alerta Hidrológico Da Bacia Do Rio Cai: Concepção E Implantação Do Sistema*. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 2011.

PEDROLLO, MÁRCIA CONCEIÇÃO RODRIGUES ET AL. *Estudo técnico para instalação e operação de um sistema de alerta hidrológico na bacia do rio Uruguai*. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 2017.

PSR. Energy Report. Edição Especial 2 (janeiro, 2013). Edição 89 (maio, 2014). Rio de Janeiro, RJ.

PEIXINHO, Frederico; COSTI, Ana Carolina; GERMANO, Andrea; CÂNDIDO, Márcio; CASTILHO, Alice E TRINDADE, Mauro. Relatório de Viagem ao Exterior Missão 2 – USGS/ANA/CPRM -Programa do USGS de “Treinamento de Instrutores” CPRM –SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL 2015 20p.

SALES, L. A. C., & GONÇALVES, E. A Modelagem Computacional Quantitativa No Estudo De Uma Bacia Hidrográfica: Um Estudo Exploratório Com Estudantes De Nível Superior. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física. Curitiba. 2003.

SCHULZE, PeterC. Cost-benefit analyses and environmental policy. 1994.

SIKORSKA, A.E.; DEL GIUDICE, D.; BANASIK, K.; RIECKEMAN, J. (2015). The value of streamflow data in improving TSS predictions – Bayesian multi-objective calibration. Journal of Hydrology Volume 530, November 2015, Pages 241-254

SILVA, Pedro Hugo Pereira da; RIBEIRO, Márcia Maria Rios; MIRANDA, Livia Izabel Bezerra de. Uso de cadeia causal na análise institucional da gestão de recursos hídricos em reservatório no semiárido da Paraíba. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 22, n. 4, p. 637-646, 2017.

SILVA, MARCO ANTONIO et.al. Aplicativo Para Disponibilização De Dados Hidrológicos Do Snirh: Hidroweb 2 XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos - 2013/ ISSN 2318-0358

SIQUEIRA, VINÍCIUS ALENCAR. Previsão de cheias por conjunto em curto a médio prazo: Bacia do Taquari-Antas/RS. 2015.

SIKORSKA, A.E.; DEL GIUDICE, D.; BANASIK, K.; RIECKEMAN, J. (2015). The value of streamflow data in improving TSS predictions –Bayesian multi-objective calibration. Journal of HydrologyVolume 530,November 2015, Pages 241-254

SNIRH, Apresentação do Portal. 2005.

Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>

SOARES, P.F. Projeto e avaliação de redes de monitoramento de qualidade da água utilizando o conceito de entropia. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.(2001).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE METEOROLOGIA (SBMET). Carta de Gramado. XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado, RS, setembro.2012.

STERN, N. Stern Review. The Economics of Climate Change, UK, 2006. 267p.

STOKEY, Edith; ZECKHAUSER, Richard. Primer for policy analysis. WW Norton, 1978.

TOLEDO, BRUNO. Reportagem “Monitorar para gerir”. P22on, 2018. Disponível em: www.p22on.com.br/2018/03/10/monitorar-para-gerir/ acesso em: 01 de outubro de 2019.

TUCCI, Carlos EM; HESPANHOL, Ivanildo; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. Gestão da água no Brasil. 2001.

VESPUCCI, Ariel Godinho; SANTOS, Júnio Gregório Roza dos; BAYER, Maximiliano. Estações fluviométricas do estado de Goiás: qualificação dos dados hidrológicos disponíveis na base HIDROWEB/ANA. 2016.

WAGNER, P. D., & WASKE, B. Importance of spatially distributed hydrologic variables for land use change modeling. Environmental modelling & software, 83, 245-254. 2016.

WIENER, Janet Ochs. Risk assessment and cost-benefit analyses: in the public interest?. 1993.

WMO. Guide to hydrological practices – data acquisition and processing, analysis, forecasting e others applications. 15º ed. World Meteorological Organization n° 168. p. 259-287. 1994.

XU, Pengcheng et al. A two-phase copula entropy-based multiobjective optimization approach to hydrometeorological gauge network design. *Journal of Hydrology*, v. 555, p. 228-241, 2017.

ANEXO

Neste anexo estão transcritas as entrevistas realizadas e cuja descrição está apresentada no 4.2 do presente documento.

Entrevista Meteorologista Willians Bini

1: O entrevistado destacou que apesar de todos os dados disponíveis das estações serem utilizados, o dado principal com o qual a empresa Somar Meteorologia trabalha é o dado de chuva.

2: Todas as informações são baixadas e são integradas visando criar uma malha de dados observacionais. Essa malha também inclui dados individuais de clientes internos e externos.

Os dados de nível dos rios e vazão são utilizados principalmente pelos clientes de Energia, que utilizam a visualização pontual destas medições. Esses dados também são utilizados nas Salas de Situação operadas pela Somar Meteorologia e como insumo para rodar modelos de energia e chuva/vazão.

Os dados de chuva são utilizados para gerar mapas de chuva interpoladas. Os clientes em geral não têm acesso ao dado bruto, mas sim ao valor interpolado.

3: O entrevistado relatou que a questão da disponibilidade de dados é tratada com bastante transparência por parte da empresa. É oferecido aquilo que está disponível. É avaliado caso a caso qual a disponibilidade de dados para cada cliente, a medição mais próxima é usada em geral. Outro ponto destacado pelo entrevistado foi com relação à temperatura, em geral os clientes gostariam de ter uma medição de temperatura mais próxima ao ponto de interesse. Mas em geral esse dado é interpolado com as estações existentes.

4: O entrevistado relata que a falta de pontos de monitoramento tem como a principal consequência para os usos da empresa a perda na qualidade da interpolação, perda na qualidade dos modelos, ou seja, queda na qualidade dos produtos em geral. Outro ponto que o entrevistado destacou foi que o banco de dados iniciou em 2001, ou seja, praticamente ao mesmo tempo que a ANA passou a operar a rede.

5: Outros sensores meteorológicos acoplados à mesma PCD: chuva, Temperatura, Umidade, Vento e Pressão (Bulbo seco e Bulbo úmido), Atmosférica. O entrevistado sustenta que o Brasil é um país de proporções continentais e, portanto, a temperatura varia muito. Seriam necessários mais pontos de medição. Quando à qualificação do dado de chuva, o entrevistado

comenta que há vasta bibliografia a respeito do uso de imagens de satélite de alta resolução para a estimativa de chuva ocorrida, mas mesmo assim, sem dados de estações, a assimilação dos dados, necessária a este tipo de aplicação, ficaria prejudicada.

6: Um ano de dados de chuva para um ponto, mil reais. O impacto da perda de dados seria maior para os clientes de energia, pois a previsão de chuva é convertida e em energia natural afluyente que por sua vez é utilizada nas projeções do mercado de energia.

Outras informações: os principais setores atendidos pela Somar são: Energia, Indústria, Verejo, Agricultura, Transporte, Monitoramento e Mídias.

Entrevista Eng. Antônio Pires Valente

1: Uma das informações mais importantes segundo o entrevistado é a soma térmica/calórica para uma determinada região. A precipitação diária também é fundamental. O entrevistado destaca que a “informação” para o produtor é a medição em tempo real associado ao observado, ambos têm a mesma importância.

2: Os dados são utilizados para: planejar a irrigação, como insumo para a aplicação de herbicidas, planejamento da semeadura (2/3 meses antes), determinar a janela de semeadura. Colheita, fungicida, herbicida, manejo.

O entrevistado destaca que, em primeiro lugar, o uso dos dados é para o Plantio Ideal, em segundo lugar fica o Manejo da cultura e em terceiro lugar fica a Colheita.

3: O entrevistado destaca que a Agricultura é um negócio de risco. Ou seja, a informação se insere nesse contexto como um agente de redução do risco. É um alicerce do negócio.

4: O entrevistado comenta que a agricultura é como se fosse uma indústria sem telhado, ou seja, sem uma previsão a produção é inviabilizada.

5: Regiões dependentes de barragem, melhores previsões de granizo, melhor informação de radiação solar (diário e ocorrido).

6: 62-69 centavos por saco produzido e colhido gerando de 90 a 100 milhões (orçamento do IRGA) que serviriam para o custeio de todas as atividades de consultoria aos produtores.

Outras informações: YR- radar da Noruega é utilizado para verificar a incidência solar. Milho: 60 dias, 6mm/dia, 6 litros/m². 45% da água utilizada para irrigação vem da chuva. Plantio de semeadura é realizado de 2 a 3 meses antes. Plantio de arroz se dá nos meses de

Setembro/Outubro/Novembro. Site Vetagro fornece informações. A linguagem tem que ser voltada para as necessidades do produtor porque são utilizadas como insumo para planejar a semeadura. Site do IRGA não utiliza dados da ANA. Os produtores buscam consultoria que forneçam os dados regionalizados. O maior acesso à página no IRGA é a meteorologia. Passo Real fornece dados de operação do reservatório, mas em geral as informações de operação de reservatórios não estão disponíveis. SimulArroz. Manual de boas práticas ANA/IRGA.

Entrevista: Eng. Márcio Shigueaki Inada

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa – UFV (2008). Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz – PPGDMA / UESC (2016).

Pesquisa de doutorado em andamento – “Apoio à decisão em planejamento e gestão de recursos hídricos sob incerteza: estratégias flexíveis”, PPGRHSA / IPH – UFRGS, sob orientação do Doutorando Guilherme Fernandes Marques.

1: As informações buscadas nas redes em contexto da rodovia e infraestrutura municipal são prioritariamente chuva. A vazão é buscada em casos mais específicos de projetos em grandes bacias (na experiência de Shigue, apenas 3 projetos). Em alguns casos são necessários estudos hidrológicos para confirmar uma vazão de projeto ou uma curva IDF.

2: Estudos hidrológicos e dimensionamento das obras: bueiros, pontes.

3: A diferença pode ser identificada no prazo de entrega de um projeto. O estudo hidrológico é insumo para o Projeto Básico, que se dá na primeira etapa dos projetos. Logo, no caso de a informação disponível não for suficiente para a precisão na avaliação preliminar do projeto: Traçado do local/ponte, volume de terra que será movimentado. Isso implica em problemas na etapa de concepção se não houve dados disponíveis pode ser necessário ir até o local, realizar atividades de campo mais específicas. Avaliar a grade (cota da rodovia) com base em relatos locais ou outras estratégias. Mas tudo isso implica tempo e muitas vezes compromete a etapa de análise preliminar de um projeto (a empresa irá ou não participar do leilão?)

4: A ausência de dados ou dados pouco precisos afetam a precisão de estudos como a regionalização por exemplo. Nesse caso, os projetistas costumam se valer de manuais do DNIT e utilizam as metodologias já padronizadas de projeto. Isso na prática significa coeficientes de segurança elevados e maiores gastos. Mas há casos em que envolve a cota da rodovia, o que

implica custos muito elevados. Nesses casos em geral é necessário garimpar dados para que o desenho fique mais “customizado” ao projeto, e a economia seja possível.

5: As informações que poderiam estar disponíveis seriam os máximos atingidos nos pontos de interesse. Curvas IDF atualizadas, em geral o padrão superestima o tamanho para os bueiros, mas, levando-se em consideração que há o fator de assoreamento no caso dos bueiros até que a questão da superestimação não é algo tão grave. No caso de projeto viários, o ponto mais sensível a custos é a grade da rodovia em função da quantidade de terra que deve ser removida. Em casos nos quais é necessário rever o traçado se torna necessário o uso de IDFs atualizadas para reduzir custos e aqui entram os históricos das estações.

6: Todo projeto é inédito. Em casos de tomada de decisão, quanto % de custo a menos obtido com o uso de dados locais justifica o “refino” dos projetos.

Aqui o entrevistado destaca que a mudança na densidade/qualidade do dado implica em risco. Uma IDF de baixa qualidade por exemplo, traz prejuízos com projetos mal dimensionados. No caso das rodovias concessionadas, com as quais o entrevistado possui experiência, tarifas menores implicam projetos mais “pensados” para que fossem economicamente viáveis “precisa de mais engenharia com tarifas menores”. O entrevistado sugere que a questão do valor dos dados seja pensada como uma relação risco/custo.

O parâmetro para as rodovias é o valor da tarifa. Trazendo um exemplo: Num trecho de 1200Km entre Porto Alegre e São Paulo foram são gastos 50 reais em pedágio. Em comparação com um trecho de 410Km entre SO em Ananguera foram gastos 120 reais, distribuídos em 11 pedágios.

Entrevista Eng.Pompilio Vieira Loguécio

1: Todos os dados são fundamentais para o projeto. O entrevistado destacou a importância fundamental dos dados nas etapas de Projeto, Construção, Operação

2: Séries histórias e monitoramento. O entrevistado comenta que a maior causa de acidentes com barragens é a insuficiência do vertedouro, questão essa intimamente ligada à falha no projeto e na concepção que é feito com os dados disponíveis. O entrevistado comenta sobre projetos em que aconteceram 3 enchentes “milenarios” no decurso da obra, evidenciando a baixa confiabilidade das séries históricas.

3: Avaliações empíricas, aumenta o risco associado ao projeto, encarece, maior necessidade de estudos de viabilidade e de estimativas pouco embasadas.

4: Custo maior durante a execução, Dados geológicos mais precisos.

5: Melhorar a oferta de dados, quantidade de chuva, à favor da segurança

6: Seria necessário quantificar

Observação a respeito do segundo ciclo de entrevistas:

As primeiras entrevistas foram direcionadas de forma a obter um entendimento mais amplo sobre a cadeia de usos dos dados hidrometeorológicos em diferentes segmentos. As informações obtidas nesse primeiro ciclo de entrevistas orientaram a divisão dos segmentos no âmbito do Projeto de Pesquisa e serviram como base para a construção da cadeia causal geral.

Depois da qualificação da presente dissertação, o trabalho evoluiu no sentido de focar em um determinado uso dos dados hidrometeorológicos, mais precisamente o segmento de geração hidrelétrica aplicado a PCHs. Esse direcionamento foi sugerido pela banca de qualificação.

Portanto, após o apanhado geral de informações relativo ao primeiro ciclo de entrevistas, seguiu-se um segundo ciclo direcionado para construção da cadeia causal do recorte de uso selecionado. Dessa forma, a metodologia de entrevistas foi a exploração direcionada dos usos das informações hidrometeorológicas para o segmento de geração de energia e, portanto, as respostas foram compiladas em forma de texto único, resumindo os pontos mais importantes comentados e que serviram como base para a construção da cadeia causal, e não seguiram o formato das seis perguntas que orientaram o primeiro ciclo.

Entrevista Engenheira Fabiana Lutkemer

- Comentou que os dados de vazão são fundamentais para a identificação do potencial de geração de energia, o comportamento anual do rio, sobretudo foi repisada a importância de séries longas para esse tipo de análise hidrológica.
- Outro ponto comentado foi a questão da Garantia Física que muitas vezes não é atendida em função dessa lacuna do conhecimento correto do regime hidrológico.

- Essa necessidade de um conhecimento mais refinado da vazão e por consequência um cálculo ajustado de Garantia Física vem ganhando importância em função do mercado livre de energia, cada vez mais forte no Brasil.
- A tomada de decisão suportada nas informações hidrológica seria, portanto, a Garantia Física.
- Foi mencionado que é bastante comum (e foi utilizado como exemplo a bacia do Taquari-Antas) não entregar a garantia física calculada em função de que o regime de vazões nesse tipo de bacia tem variações diárias não desprezíveis e que, portanto, quanto maior a série de dados disponíveis e quanto melhor a qualidade desse dado, maior será a confiabilidade para garantir a garantia física.
- A tomada de decisão sob o ponto de vista do segmento de projetos de PCH é realizada com base no valor calculado de garantia física que pode ser resumida com a decisão de motorização da usina e qual será a porcentagem a ser vendida no mercado livre, sobretudo em um cenário de regime hidrológico variável.
- Quanto maior a variabilidade de vazões na bacia, maior o valor do dado. Também é destacou a importância de abarcar o período crítico de vazões na série de dados utilizada. Portanto, séries longas são importantes nesse aspecto.
- Também foi comentado que uma maior previsibilidade agrega mais valor ao setor.
- Outro comentário para o futuro diz respeito à previsão de vazões, que também depende de dados observados para rodar os modelos chuva vazão ou similares.

Entrevista Engenheira Francielli Scopel

- Dados hidrometeorológicos são o combustível para os projetos do setor elétrico. Impactam a vida útil dos projetos. As informações chave são altura de queda e vazão. Foi dado o exemplo de que na bacia do Taquari-Antas há problemas de gerar a garantia física por causa da média mensal versus a média diária. Ou seja, as redes que têm dados apenas diários acabam por apresentar essas distorções. Usinas a fio d'água são mais vulneráveis a esse tipo de problema uma vez que a garantia física vai se degradando. Abragel tem proposta de incrementar a rede.

- É importante que o cálculo da garantia física apresente uma melhor representatividade do papel ao real. As perguntas que são feitas são: vale a pena colocar uma máquina a mais? Essa geração a mais paga as estruturas? Algo como 0,1 MW/médio a mais X valor de venda de energia X 8760h/ano X 5 anos de contrato. Qual o resultado dessa simulação?
- A redução da garantia física pode prejudicar o fluxo de caixa.
- A importância dos dados hidrometeorológicos é conhecida pelo setor de geração hidrelétrica e um sinal disso é que a Abragel (Associação Brasileira de Geração e Energia Limpa) tem uma proposta para incrementar a Rede.

APÊNDICE

CADERNO II- CUSTOS DA REDE

PROJETO REDE HIDROMETEORÓLIGA NACIONAL



Inventário e avaliação de custos e benefícios da Rede Hidrometeorológica Nacional e da Rede Nacional de Qualidade de Água

Caderno II

Os Custos da Rede

Porto Alegre

Abril de 2021

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Pesquisas Hidráulicas

GESPLA

Grupo de Pesquisa em Gestão e Planejamento

www.ufgrs.br/warp

Equipe:

Guilherme Fernandes Maques (coordenador)

Iporã Brito Possantti (pesquisador)

Marcela Nectoux (pesquisadora)

Márcio Inada (pesquisador)

Juliano Santos Finck (pesquisador)

Execução:



Instituto de
Pesquisas
Hidráulicas



GESPLA
Grupo de Pesquisa em
Gestão e Planejamento
de Recursos Hídricos

Financiamento:



ANA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO

Apoio:



Sumário

1. O projeto de pesquisa	4
2. Objetivo do Caderno II	Error! Bookmark not defined.
3. Panorama dos Custos da Rede	6
3.1. Perspectiva da racionalização e a Rede Hidrometeorológica de Referência	7
3.2. Contratos de operação: diferenças entre contratos privados e CPRM	9
3.3. Vínculos com os Estados	11
3.4. O valor dos ativos no tempo	12
3.5. Observações sobre a contribuição do Setor Elétrico	13
3.6. Os Custos da Rede: um olhar para o futuro	13
4. Diagnóstico dos custos por Ponto de Monitoramento	15
4.1. Composição dos custos por Ponto de Monitoramento	15
4.2. Diferenças regionais e sua relação com o custo de operação	17
4.3. Análise e discussão de resultados.....	23
4.4. Conclusões.....	24
Referências.....	26
Apêndices	27
Composição do custo unitário de operação	27
O Sistema de Informação dos Custos da Rede - SIGRede	29

1. O projeto de pesquisa

Em março de 2020 foi homologado no CNPq o projeto de pesquisa intitulado “*Rede Hidrometeorológica Nacional*”. Esse projeto foi idealizado a partir da necessidade identificada pela Agência Nacional de Águas (ANA) de um embasamento técnico aprofundado a respeito dos benefícios associados à operação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

A pesquisa é conduzida 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 em parceria com o CNPq.

Seis produtos, chamados aqui de **Cadernos**, estão previstos para serem entregues até 2022. Os Cadernos, assim, irão compor o relatório final do projeto, servindo assim como subsídio para a tomada de decisão da ANA. A Figura 1 apresenta um diagrama com os produtos do projeto.

Figura 1 | Diagrama dos Cadernos (produtos) do projeto de pesquisa “Rede Hidrometeorológica Nacional”.



2. Objetivo e metodologia geral

O Caderno II – Os Custos da Rede, objetiva apresentar uma **visão sistemática e informativa** sobre os **custos** relacionados à RHN. Assim, o documento contribui de forma estruturante para a continuidade do projeto de pesquisa, já que produz **insumos básicos** para a posterior avaliação do valor da informação hidrometeorológica.

A elaboração do Caderno II foi possível a partir de: (1) levantamento bibliográfico, (2) acesso a contratos de operação, incluindo planilhas de custos e (3) por processamento de dados e metadados disponibilizados pela ANA. Isso resultou em dois conjuntos de informações:

1. **Resultado 1:** um **panorama** sobre os custos da RHN, e;
2. **Resultado 2:** um **diagnóstico** dos custos de operação por Ponto de Monitoramento.

O **panorama** (Seção 3), que foi baseado principalmente em levantamento bibliográfico, **concatena as principais temáticas relacionadas aos custos da rede:** o contexto histórico recente, o advento do novo viés de racionalização, diferenças entre contratos privados e CPRM, vínculos com Estados, a questão dos ativos no tempo, a contribuição do Setor Elétrico e um olhar para o futuro dos custos da Rede.

Já o **diagnóstico** (Seção 4) buscou cruzar as informações existentes em contratos de operação com a informação geográfica da RHN para determinar **a composição de custos de operação por Ponto de Monitoramento**. O resultado concreto desse esforço consiste em um Sistema de Informação dos Custos da Rede com 144 mapas pré-processados de **estatísticas zonais** para os escalas geográficas de Unidades da Federação, Municípios, Regiões Hidrográficas, Sub-bacias DNAEE e Unidades de Planejamento de Recursos Hídricos. Desse total, um sub-conjunto menor de 20 mapas temáticos foram selecionados para análise das diferenças regionais.

3. Resultados – Panorama dos Custos da Rede

3.1. Contexto histórico

Destaque 1 | PCD - Plataforma de Coleta de Dados

Uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) é um equipamento que permite o acoplamento de sensores de medição e posterior transmissão do dado coletado via satélite, também chamado de telemetria. O custo de aquisição e instalação deste tipo de equipamento é bastante significativo e os sensores que compõe a Estação Telemétrica, estão sujeitos a trocas periódicas.

Valores médios (milhares de R\$):

Sensor de nível (pressão)	R\$ 5k
Sensor de nível (radar)	R\$ 20k
PCD	R\$ 50k

Quando promulgada, a **Política Nacional de Recursos Hídricos** (PNRH - [Lei 9.433 de 1997](#)) instituiu o instrumento do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). De acordo com a PNRH, o SNIRH é “um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão”.

À ANA cabe organizar, implantar e gerir o SNIRH, de acordo com a sua lei de criação ([Lei nº 9.984, de 17 de Julho de 2000](#)). Assim, a RHN foi incorporada ao escopo da ANA no que se refere à gestão e planejamento.

Com a ampliação da **telemetria**, a gestão da RHN passou a ser mais custosa em função do alto *custo de aquisição* dos dos sensores e

equipamentos de **PCD** (Detaque 1). A *operação* da rede também é outra fonte importante de custos uma vez que as **Estações de Monitoramento** são periodicamente visitadas por hidrotécnicos para garantir a manutenção preventiva dos equipamentos, realizar **campanhas de medição de vazão** (Destaque 2) e solucionar falhas dos equipamentos e sensores.

Destaque 2 | Campanhas de medição de vazão

As campanhas são visitas periódicas organizadas em **roteiros** nas quais os técnicos responsáveis pela operação da RHN visitam os **Pontos de Monitoramento** com o objetivo de realizar a manutenção preventiva das **Estações de Monitoramento** e também a medição de vazão.

Segundo as diretrizes da ANA, são realizadas em média **quatro visitas anuais** a cada um dos Pontos de Monitoramento.

A etapa de medição de vazão é fundamental ajustar a **curva-chave**. É a partir da equação da curva-chave que as leituras de **cota** pelos sensores são convertidas no dado de **vazão**.

13%

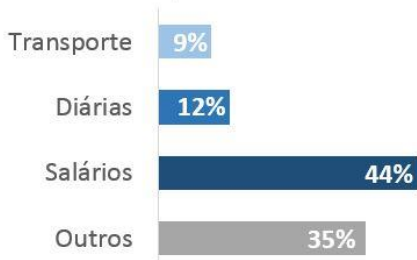
do **orçamento anual da ANA** foi destinado para cobrir custos da RHN em 2020. Desconsiderando pagamento de servidores da Agência, essa fração corresponde a 1/3, ou **33%**. Fonte: ANA (2020)

A última década apresentou um ciclo de investimentos na RHN, com um aumento relativo nos custos de aquisição entre 2010 e 2017 (Figura 2). A

Destaque 1 | Raio X do custo operacional

Dentre os custos operacionais globais dos contratos, cerca de 44% representa o custo com os **salários** de engenheiros hidrólogos e técnicos, 9% com **diárias** e 12% com **transporte** (incluindo veículo e combustível).

% do custo operacional



partir de 2010, os custos de aquisição subiram de um patamar de cerca de dois milhões de reais ao ano para um pico de aproximadamente R\$ 22 milhões, em 2014. Ainda que esse pulso de investimentos tenha se encerrado desde 2017, o custo anual total se manteve em um patamar acima daquele de 2010, oscilando em torno de R\$ 50 milhões, principalmente em função dos custos de operação.

87%

foi o que o **custo de operação** representou do custo total da RHN sob a responsabilidade da ANA em 2019.

Fonte: derivado a partir da SGH-ANA (2020)

Devido ao tamanho da RHN e da Rede Hidrometeorológica de Referência (RHR), os custos de operação dentro da ANA são de aproximadamente 87% do custo total, o que é significativo em termos de gestão. Tal resultado aponta para a importância de compreender a estrutura de tais custos bem como sua dinâmica espacial e temporal para subsidiar a gestão e o planejamento da RHN.

3.2. Perspectiva da racionalização

Destaque 3 | A CFURH

A **Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Hídricos (CFURH)** prevista no art. 20, §1º, da Constituição Federal: corresponde à **indenização** aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, bem como a órgãos da administração direta da União, pelo resultado da exploração de recursos hídricos para fins de **geração de energia elétrica**.

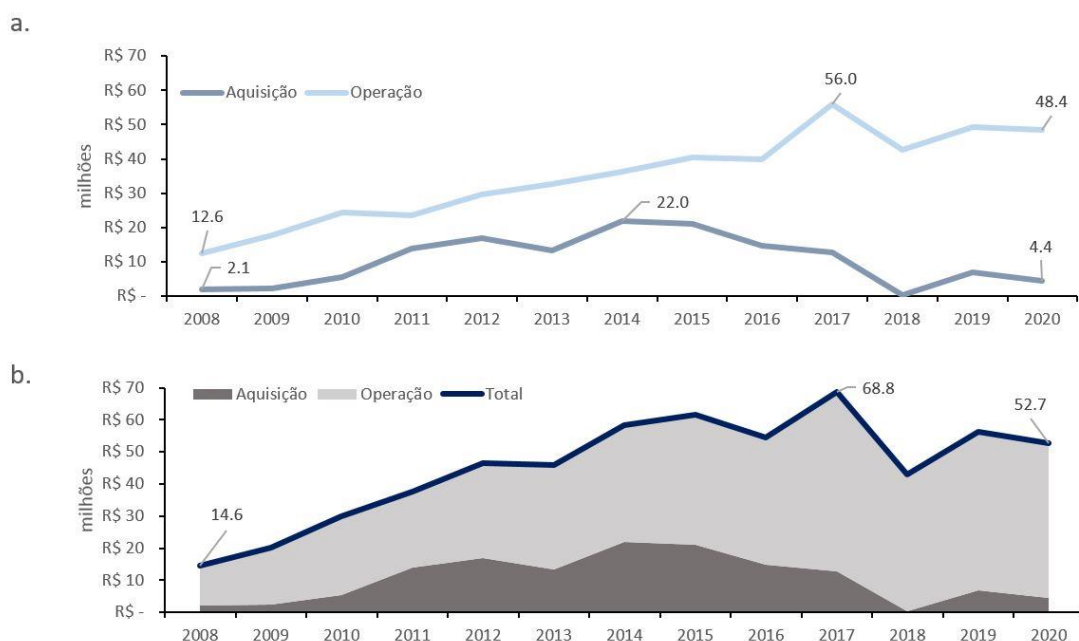
A apuração da CFURH será realizada sobre **7% da energia produzida** pelas centrais hidrelétricas e, desde 2019, **3%** do valor arrecadado é destinado ao **Ministério do Desenvolvimento Regional**.

A partir da última década, foi iniciado um **viés de racionalização** do planejamento e operação da rede. Um dos catalisadores deste novo viés foi a alteração na Compensação Financeira pelo Uso dos Recursos Hídricos - **CFURH** (Destaque 3).

A CFURH estabelece um repasse do valor de parte da energia gerada pelas hidrelétricas à União, estados e a municípios com áreas inundadas pelos empreendimentos. O valor é calculado multiplicando-se e energia (MWh produzidos) por uma Tarifa Atualizada de Referência (TAR em R\$/MWh). Reduções na TAR

refletiram na velocidade de expansão da Rede até então observada, conforme verificado na Figura 2. Em resposta, iniciou-se uma nova etapa no planejamento da RHN, tendo a racionalização como objetivo central da gestão da rede, abandonando o viés anterior de "ocupar os espaços ausentes de dados".

Figura 2 | Série histórica recente dos custos da RHN. A última década apresentou um ciclo de investimentos (aquisição) na RHN com um pico em 2014 e o retorno aos patamares de 2010 em 2020. a. Custos de aquisição e operação. b. Custo total anual e suas componentes. Fonte: derivado a partir da SGH-ANA (2020).



De forma a subsidiar o planejamento da RHN com uma visão de racionalização, foi firmada uma parceria com o **USGS** (Serviço Geológico dos Estados Unidos). A partir de um **memorando de entendimento** entre as duas instituições, se deu a concepção do projeto da Rede Hidrometeorológica de Referência (RHR) e foi estabelecida uma metodologia de otimização.

Essa **metodologia de otimização** consistiu na avaliação de toda a rede da ANA naquele momento (**convencional e telemétrica**) e determinando quais Estações de Monitoramento se prestavam a mais de um objetivo: por exemplo, uma Estação que pertence a um sistema de alerta de cheias e ao mesmo tempo é utilizada como referência para questões de outorga no âmbito do comitê de bacia.

A partir dessa avaliação, foram determinados 1700 Estações de Monitoramento aptas a integrarem a RHR, sendo 900 Estações já com PCD instalada. Ou seja, a implementação da RHR é um projeto da ANA ainda em desenvolvimento que envolve não apenas aquisição e instalação de equipamentos, mas principalmente um regime de manutenção diferenciado, que garante um melhor padrão de qualidade de dado.

3.3. Diferenças entre contratos privados e CPRM

As entidades que operam a RHN são contratadas para atuar por regiões (Figura 3) e possuem uma quantidade determinada de **Pontos de Monitoramento**. Assim, para abranger todo o território nacional, a ANA conta com a participação de entidades públicas, tais como a **CPRM** e os **órgãos estaduais de recursos hídricos**, que representam cerca de 73% e 18% dos Pontos de Monitoramento, respectivamente, e os 9% restantes são operados por empresas privadas.

73%

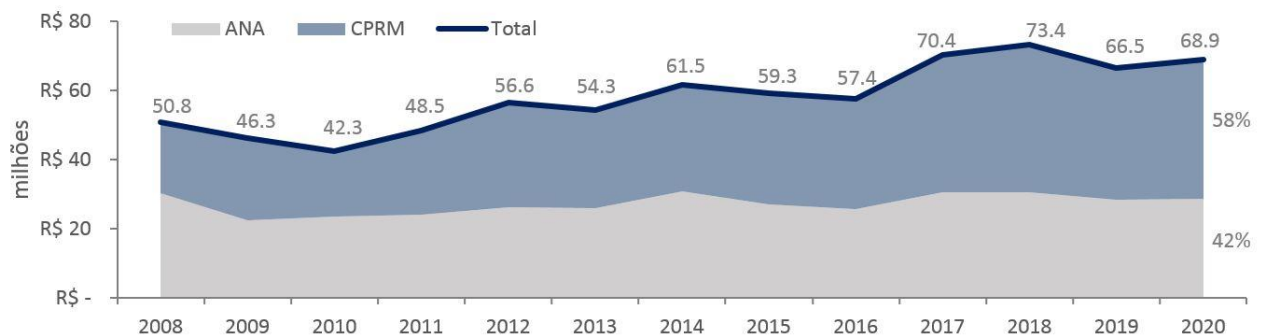
dos **Pontos de Monitoramento** da RHN
são operados pela **CPRM**.
Fonte: Sistema Hidro, 2020

Figura 3 | Mapa da abrangência das entidades envolvidas na operação da RHN. Cada polígono representa a região de operação de uma entidade. Fonte da imagem: SGH/ANA.



É importante destacar a participação da CPRM nos custos de operação da RHN, pois além de abranger a maior parte do território brasileiro, o convênio entre os órgãos tem como contrapartida os custos com o corpo técnico da CPRM. Ou seja, os custos com salários de engenheiros e técnicos, que hoje representa mais da metade dos custos operacionais, ficam a cargo da CPRM enquanto os demais custeios ficam a cargo da ANA. A Figura 4 ilustra essa relação, apresentando a série histórica recente de custos operacionais com destaque para a fração da CPRM.

Figura 4 | Série histórica recente dos custos operacionais da RHN em valores corrigidos para 2020, com destaque para a fração arcada pela CPRM. Fonte: derivado a partir de SGH-ANA (2020).



3.4. Vínculos com os Estados

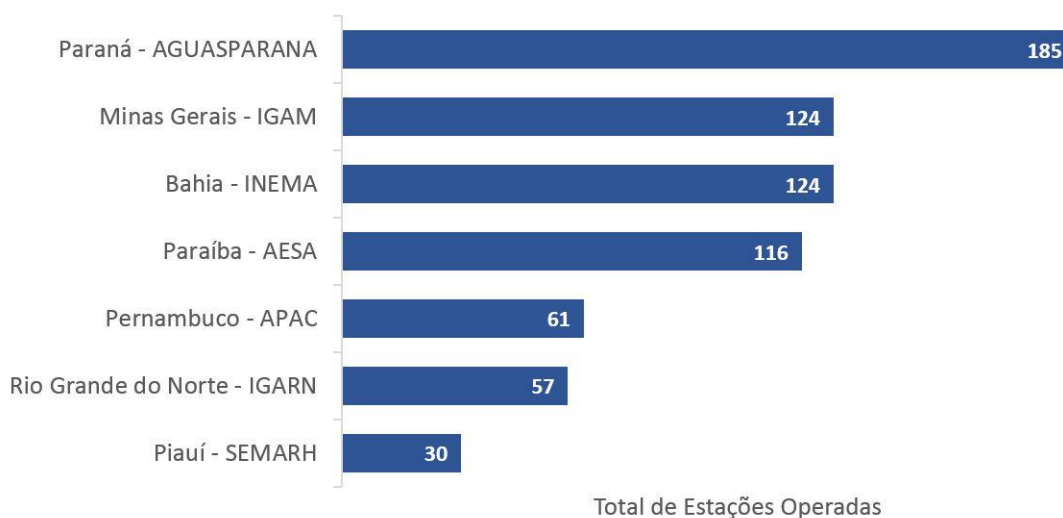
Em virtude do foco da ANA no fomento à **gestão descentralizada** dos Recursos Hídricos, uma relação com estados na gestão da RHN vem sendo construída. Uma das iniciativas nesse processo foi a criação das Salas de Situação e o programa PROGESTÃO. No contexto desses projetos citados, e de outras iniciativas similares, os Estados vêm recebendo da Agência equipamentos e verba para estruturar centros Estaduais de monitoramento hidrometeorológico.

Esse movimento culminou com o investimento por parte dos Estados na aquisição e operação de uma rede de PCDs. Vale ressaltar que, apesar de esses equipamentos receberem o código para transmissão via satélite e assim comporem o banco do **Gestor PCD** administrado pela ANA, parte do custo (seja de aquisição, seja de operação) associado a essas Estações é arcado pelos Estados, muitas vezes através dos órgãos gestores ambientais (Secretarias de Meio Ambiente) ou demais Fundações ou Institutos de gestão de recursos hídricos.

A união de esforços entre os Estados e gestão federal de recursos hídricos fomentada pela ANA por meio de diversas iniciativas contribuiu para aumentar o número de Estações de Monitoramento da RHN e qualificar as informações hidrológicas uma vez que as Estações adquiridas e/ou instaladas pelos Estados atendem às **necessidades específicas** de cada bacia hidrográfica e auxiliam na tomada de decisão

local. A Figura 5 ilustra esse aspecto, mostrando o total de Estações de monitoramento de uma seleção de Estados.

Figura 5 | Total de Estações de monitoramento em um conjunto de Estados. Essas Estações da RHN visam qualificar as informações hidrológicas uma vez que as Estações adquiridas e/ou instaladas pelos Estados atendem às necessidades específicas de cada bacia hidrográfica e auxiliam na tomada de decisão local. Fonte: SIEST/ANA (2020).



3.5. Observações sobre o valor dos ativos no tempo

Vale a ressaltar que a ANA não estipula a vida útil dos equipamentos que compõem a malha ativa da RHN. Isso se deve ao fato de que a durabilidade desses equipamentos é difícil de determinar. Com a correta manutenção e com a possibilidade de troca dos sensores, uma Estação de Monitoramento pode durar mais de 10 anos. Ao passo que, em situações de **vandalismo ou cheia**, uma Estação nova pode ser perdida.

Dessa forma, a ANA optou por não trazer a valor presente o valor dos ativos, e apenas retirar do registro as Estações descontinuadas. Também cabe destaque que alguns equipamentos não são instalados em campo, servindo como fonte de peças para reposição. A consequência contábil da não atribuição de vida útil aos equipamentos é que o valor total de ativos não é trazido ao valor presente quando a ANA contabiliza os custos relativos à RHN.

3.6. Observações sobre a contribuição do Setor Elétrico

Apesar da RHN representar cerca de 13% do orçamento anual da ANA, há custos da RHN que são arcados pelo **Setor Elétrico**. Esse setor mantém **2463 Estações de Monitoramento** com **telemetria** que medem dados fluviométricos e pluviométricos, eventualmente também incluindo dados sedimentométricos e de qualidade da água. Isso corresponde a 59% das Estações telemétricas da RHN.

59%

das **Estações Telemétricas** da RHN são de responsabilidade do **Setor Elétrico**.
Fonte: Sistema Telemetria, acesso em 10/2020

Esse setor arca, portanto, com custos de aquisição de equipamento, manutenção e envio de dados ao Gestor PCD da ANA, a qual trata, então, do armazenamento e disponibilização de dados. Além disso, o setor é também encarregado de traçar curvas-chave, atualizar relatórios e outros acompanhamentos.

Após a Constituição de 1988, o monitoramento hidrológico do Setor Elétrico seguiu a **Resolução ANEEL nº 396/1998** (ANEEL, 1998). Essa Resolução foi revogada em 2010 pela **Resolução Conjunta ANA-ANEEL nº 3/2010**, que atualmente garante um instrumento legal para cobrança do monitoramento hidrometeorológico do Setor Elétrico (Nectoux et al., 2019). Assim, o monitoramento hidrológico por parte do Setor Elétrico é uma contrapartida à sociedade prevista pela Resolução Conjunta ANA-ANEEL no 3/2010 por este setor utilizar dos rios estaduais e da União.

3.7. Os Custos da Rede: um olhar para o futuro

O planejamento da ANA é de que a Rede Hidrometeorológica Nacional cresça em 100 *Estações* de Monitoramento por ano nos próximos 10 a 15 anos. Isso não significa, contudo, em novos *Pontos de Monitoramento*. Em razão do novo viés de otimização frente ao orçamento, espera-se a

substituição de Estações convencionais por Estações telemétricas em Pontos de Monitoramento estratégicos.

Os riscos para a disponibilidade de recursos persistem. Segundo ANEEL (2020) , em dezembro de 2020 a Tarifa Atualizada de Referência (TAR) foi reajustada para R\$76/MWh, em vigor desde 1º de janeiro de 2021. Este reajuste afeta os recursos que serão pagos pelas geradoras de energia elétrica à União, aos estados, ao Distrito Federal e aos municípios como compensação financeira pelo alagamento de áreas resultantes da criação das usinas hidrelétricas, com rebatimento no orçamento da própria ANA.

Com base na análise da distribuição dos custos atuais da rede, bem como a nova perspectiva de otimização, projeta-se que a RHN tenderá a reduzir em quantidade de novos Pontos de Monitoramento, reduzindo a velocidade de expansão. No entanto, deverá registrar um aumento significativo na qualidade dos dados, com redução nas falhas de medição e maior perenidade nos Pontos de Monitoramento atualmente instalados.

É possível fazermos essa projeção levando em consideração o trabalho da ANA no que se refere ao estudo dos atuais Pontos de Monitoramento, removendo aqueles em que não há consulta dos dados, ou seja, aqueles pontos onde a informação não tem muito sentido na tomada de decisão. Também puderam ser identificados ao longo dos anos aqueles Pontos de Monitoramento onde não há infraestrutura logística para que as Estações tenham a manutenção necessária, bem como os Pontos onde foi identificada a inviabilidade operacional (como o caso de rios com alta variabilidade de vazão, nos quais as Estações acabam por ser danificadas nos períodos de cheia).

4. Resultados – Custos por Ponto de Monitoramento

4.1. Composição dos custos por Ponto de Monitoramento

No presente estudo os custos relativos à RHN foram divididos em dois tipos. Esta divisão se justifica pelo fato de que cada custo segue um cada processo licitatório distinto:

- **Custos de aquisição** (ativos): Plataforma de Coleta de Dados (PCD), custo de instalação, veículos, medidores de vazão, barcos, etc.
- **Custos de operação** (equipe, diárias): diárias para as campanhas, gasolina dos veículos e barcos, sensores para substituição, salário dos

profissionais envolvidos, etc.

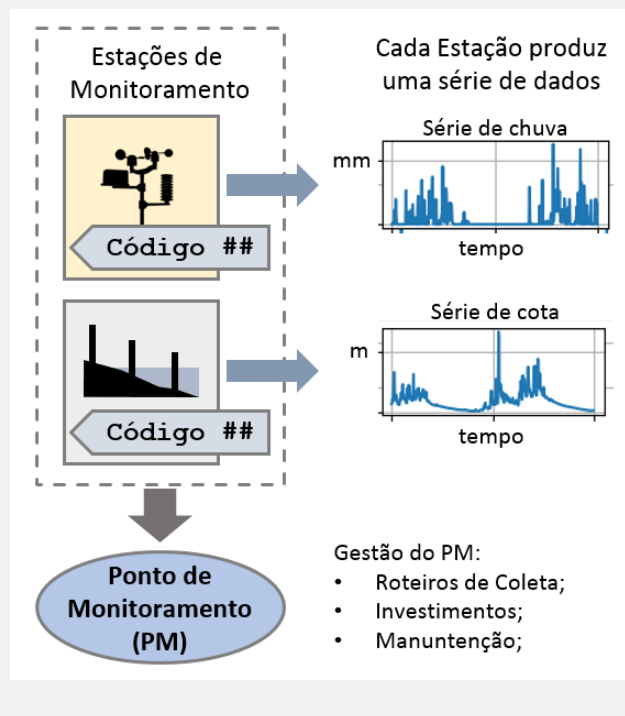
Os custos de aquisição estão relacionados aos investimentos em equipamentos que compõe o ativo da RHN. Estes são adquiridos para instalações de novos **Pontos de Monitoramento** (Destaque 4), substituição de equipamentos danificados ou depreciados ao longo dos anos de uso, e substituição por novas tecnologias.

Já os custos operacionais estão relacionados ao dia-a-dia da aquisição dos dados, desde a anotação diária dos dados por leituristas, visitas técnicas, medições em campo, materiais de manutenção e instalação, consolidação e inserção dos dados no sistema. Estes serviços são realizados por técnicos e engenheiros de empresas contratadas por licitações ou servidores do governo como a CPRM e

órgãos estaduais de recursos hídricos, além dos inúmeros colaboradores espalhados em todo território, responsáveis pela guarda e anotação dos dados de cada Ponto de Monitoramento.

Destaque 4 | Terminologia: Estações e Pontos de Monitoramento

Uma **Estação de Monitoramento** consiste em um conjunto de equipamentos que produz uma **série de dados** hidrometeorológicos, como chuva ou vazão. Um **Ponto de Monitoramento (PM)** agrega as **Estações** de um mesmo local para **fins de gestão**, tais como roteiro de coleta, investimentos e manutenção.



Assim, os custos operacionais estimados para cada ponto monitoramento deve considerar (1) a inspeção e manutenção das Estações, (2) o pagamento do serviço de anotação ou guarda para os colaboradores, e

(3) das medições específicas do ponto, como medição de vazão por molinete ou *doppler*, sedimentos, qualidade da água, entre outras. Nos custos de medição estão incluídos desde a calibração e depreciação dos equipamentos até as análises laboratoriais dos materiais coletados.

Outros custos operacionais estão relacionados às campanhas de visitas aos Pontos monitorados e ao processamento e validação dos dados para serem disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH. Estes custos são (4) materiais e serviços de escritório, (5) veículos para percorrer os roteiros das visitas, (6) diárias das saídas a campo, e (7) os salários dos técnicos e engenheiros.

Como estes custos formam um conjunto de atividades comuns, eles foram somados e divididos na proporção de 40% e 60% para as

atividades de manutenção (1) e medição (3), respectivamente, para contabilizar nos custos por Ponto de Monitoramento (Destaque 5).

Em razão de características locais, localização, entidade operadora e tipos de Estações instaladas, cada Ponto de Monitoramento tem um custo operacional unitário anual específico. Este custo foi decomposto da seguinte forma:

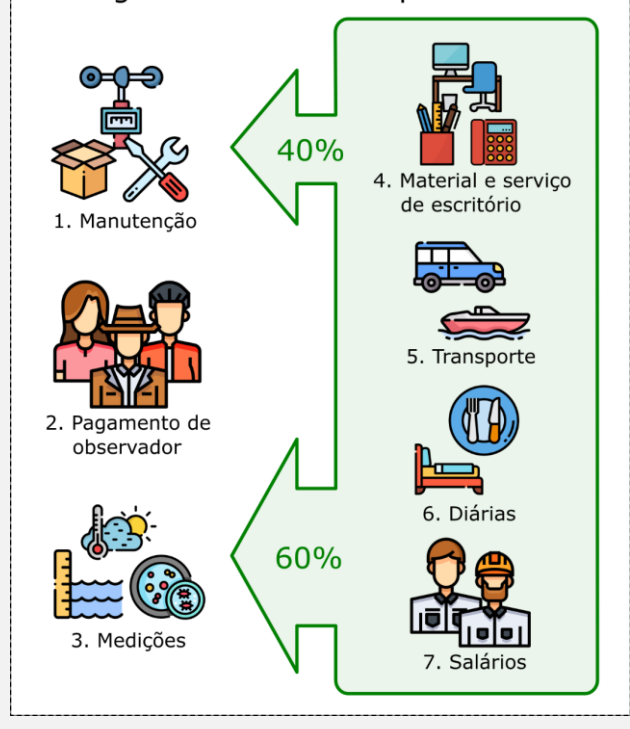
$$C_{unit} = C_{man} + C_{med} + C_{pag} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que C_{unit} é o custo unitário anual [R\$/unidade*ano], C_{man} é o custo de manutenção [R\$/unidade*ano], C_{med} é o custo de medição de dados

Destaque 5 | Componentes do custo operacional

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.

Diagrama dos custos operacionais



hidrometeorológicos) [R\$/unidade*ano], e C_{pag} [R\$/unidade*ano] é o custo de pagamentos.

A partir dessa premissa, as **4.803 Estações** da RHN sob responsabilidade da ANA foram **agregadas nos seus respectivos Pontos de Monitoramento**, resultando em **3.691 Pontos de Monitoramento**. Em seguida foi estimado o custo unitário operacional de cada ponto. A análise teve como base documentos compartilhados pela ANA para o presente projeto de pesquisa (material que incluiu diversas planilhas de custos de contratos com a CPRM, empresas privadas contratadas e planejamentos de campanhas de medição).

3.691

Pontos de Monitoramento da RHN estão sob responsabilidade da ANA, agregando um total de **4.803 Estações**.

Fonte: Sistema Hidro, acesso em 10/2020

A documentação da metodologia empregada para agregar as Estações de Monitoramento nos respectivos Pontos de Monitoramento e decompor o custo operacional unitário em três categorias de custos se encontra no **Apêndice I** deste documento.

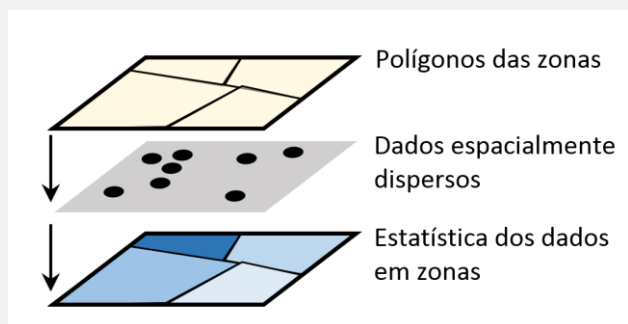
Cabe destacar que o trabalho apresentado neste Caderno traz como recorte os custos da RHN **operada pela ANA**. No entanto, alguns Estados brasileiros como o Paraná e Rio Grande do Sul possuem um número significativo de Pontos de Monitoramento administrados por **outras entidades** como os governos estaduais ou o Setor Elétrico.

4.2. Diferenças regionais e sua relação com o custo de operação

A partir do resultado da composição dos custos por Ponto de Monitoramento foi criado um Sistema de Informação dos Custos da Rede com base em SIG. Esse Sistema de Informação inclui mapas pré-processados de seis **estatísticas zonais** (Destaque 6) das componentes dos custos de operação em seis regiões temáticas. Foram obtidas as

Destaque 6 | Estatística Zonal

A **estatística zonal** consiste em um método de **geoprocessamento** em que as estatísticas de dados dispersos no espaço (como os Pontos de Monitoramento) são agregados em zonas. As zonas podem ser bacias hidrográficas, municípios, etc.



seguintes estatísticas: contagem, soma, média, mediana, máximo e mínimo. Isso resultou em **144 mapas potencialmente visualizáveis**. As regiões temáticas selecionais foram: Regiões Geográficas, Unidades da Federação, Municípios, Regiões Hidrográficas, Sub-bacias DNAEE e Unidades de Planejamento de Recursos Hídricos. A documentação deste Sistema de Informação, da metodologia empregada e exemplo de uso encontra-se no Apêndice II deste documento.

Do total de 144 mapas pré-processados, foram selecionados para análise e visualização **um conjunto de 20 mapas temáticos** das seguintes estatísticas zonais:

- **Contagem** de Pontos de Monitoramento;
- **Densidade** de Pontos de Monitoramento em unidade/10mil km²;
- **Custo total** (a *soma* dos custos dos Pontos) em milhões de R\$/ano, e;
- **Custo médio** (a *média* dos custos de Pontos) em milhares de R\$/unidade /ano.

As zonas escolhidas para a análise foram Região Geográfica e Região Hidrográfica (Figura 6 a Figura 11). Essa escolha foi norteada em função do objetivo de apresentar um inventário geral de custos para a ANA.

Contudo, reforçamos que os valores das estatísticas zonais podem ser visualizadas e analisados em ambiente SIG em qualquer um dos demais recortes de escala mais detalhados: Unidades da Federação, Municípios, Sub-bacias DNAEE e Unidades de Planejamento de Recursos Hídricos.

Figura 6 | a. Contagem de Pontos de Monitoramento por Região Geográfica. b. Densidade de Pontos de Monitoramento por Região Geográfica (unidades / 10 mil km²).

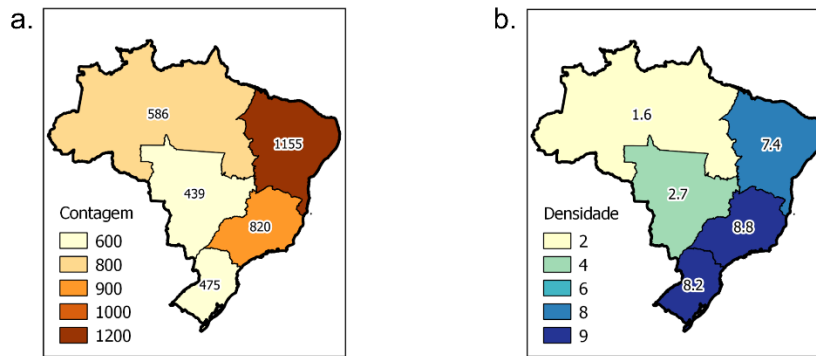
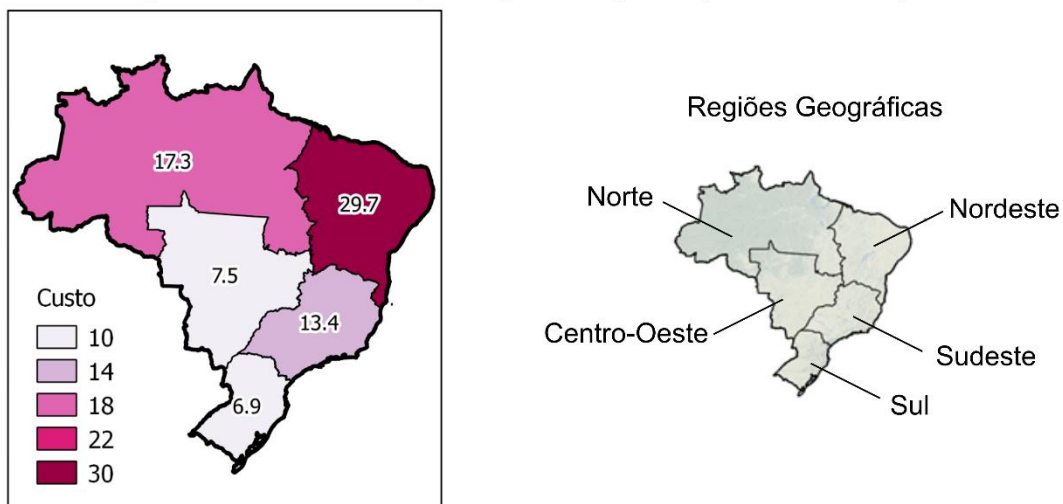


Figura 7 | Custo operacional total anual e suas componentes dos Pontos de Monitoramento geridos pela ANA por Regiões Geográficas. a. Custo operacional total anual (soma dos custos dos Pontos) em milhões de R\$ por ano. b. Componentes do custo operacional total anual em milhões de R\$/ano.

a. Custo operacional total anual por Região Geográfica (milhões R\$/ano)



b. Componentes do custo operacional total anual (milhões R\$/ano)

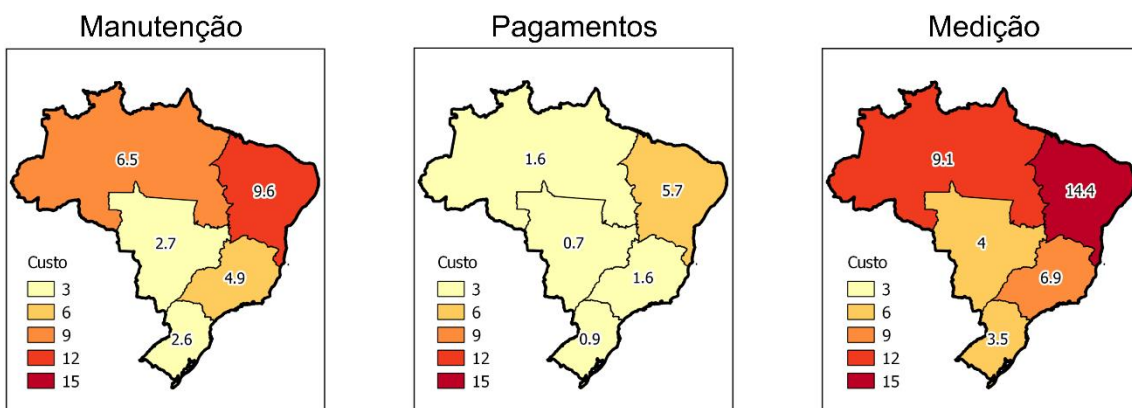
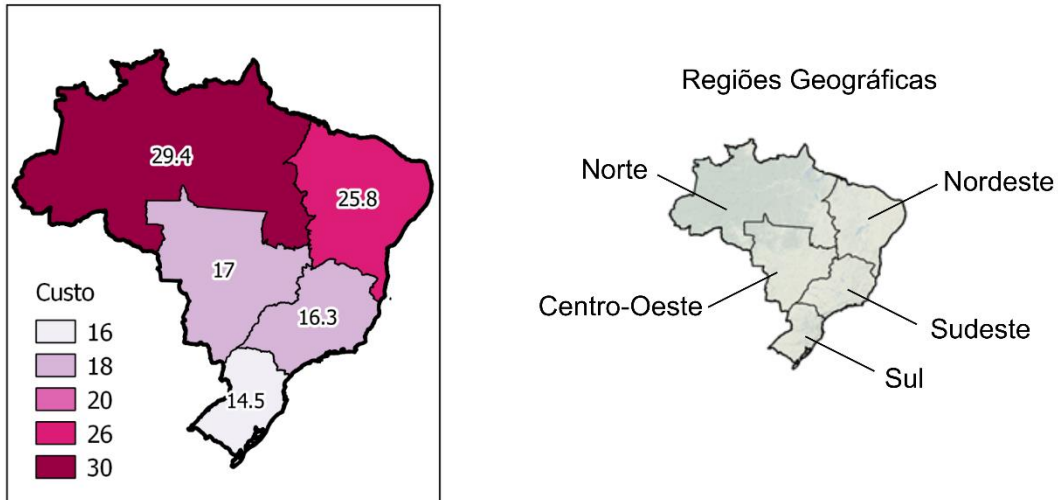


Figura 8 | Custo operacional médio anual e suas componentes dos Pontos de Monitoramento geridos pela ANA por Regiões Geográficas. **a.** Custo operacional médio anual (média dos custos dos Pontos) em milhares de R\$/unidade/ano. **b.** Componentes do custo operacional médio em milhares de R\$/unidade/ano.

a. Custo operacional médio anual por Região Geográfica (milhares R\$/unidade/ano)



b. Componentes do custo operacional médio (milhares R\$/unidade/ano)

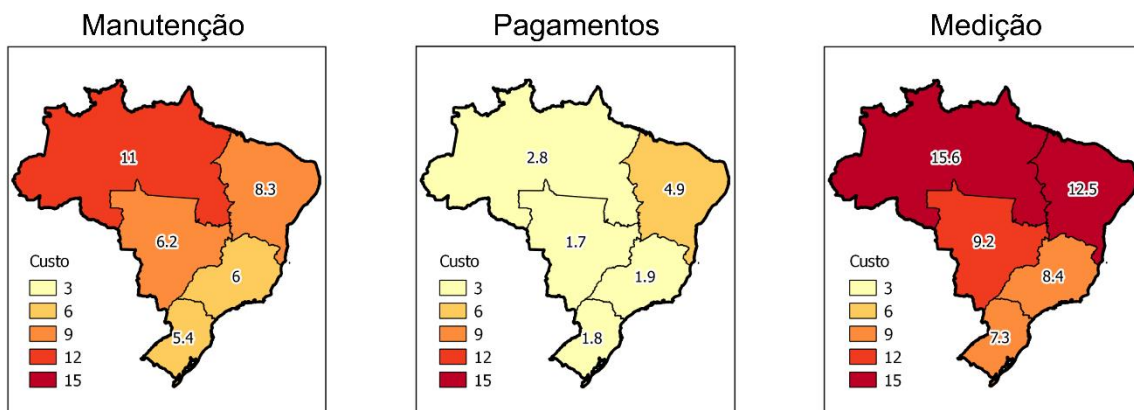


Figura 9 | a. Contagem de Pontos de Monitoramento por Região Hidrográfica. b. Densidade de Pontos de Monitoramento por Região Hidrográfica (unidades / 10 mil km²).

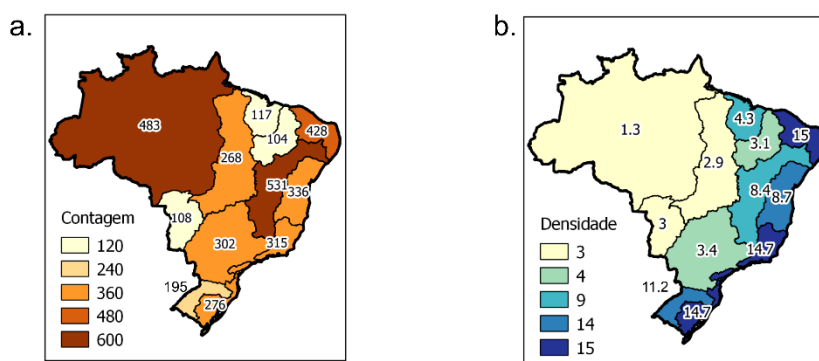
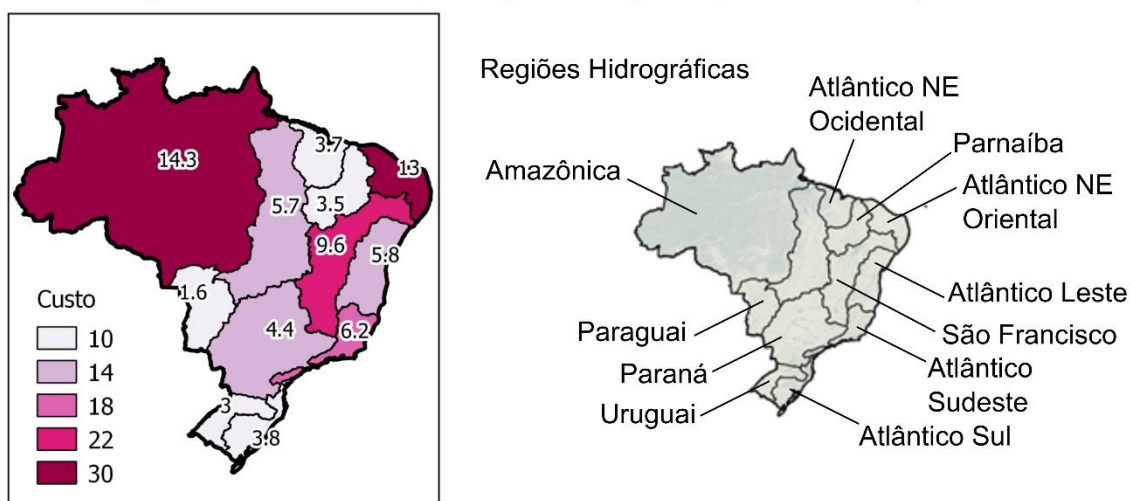


Figura 10 | Custo operacional total anual e suas componentes dos Pontos de Monitoramento geridos pela ANA por Regiões Hidrográficas. a. Custo operacional total anual (soma dos custos dos Pontos) em milhões de R\$ por ano. b. Componentes do custo operacional total anual em milhões de R\$ por ano.

a. Custo operacional total anual por Região Hidrográfica (milhões R\$/ano)



b. Componentes do custo operacional total anual (milhões R\$/ano)

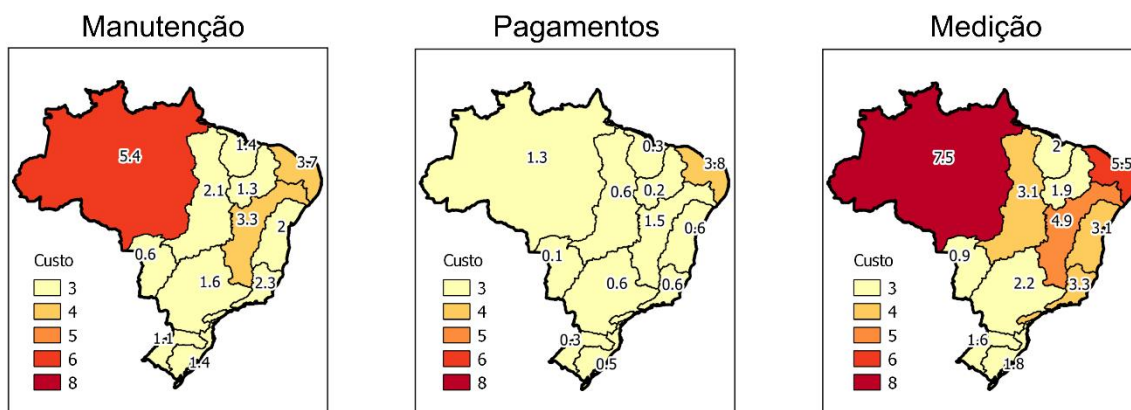
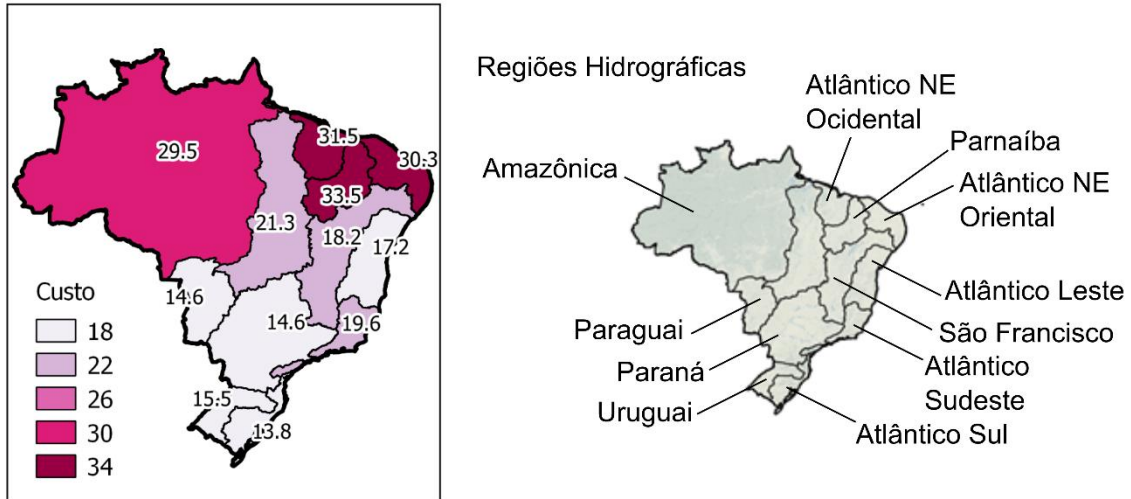
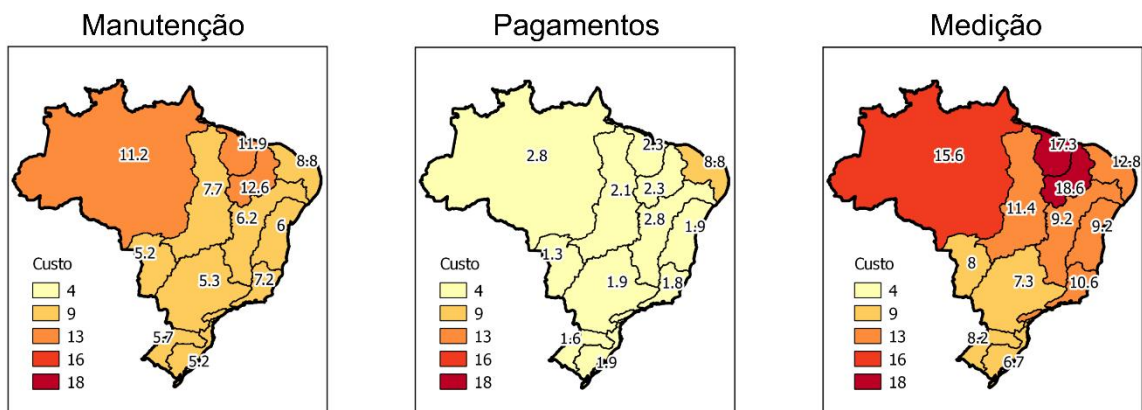


Figura 11 | Custo operacional médio anual e suas componentes dos Pontos de Monitoramento geridos pela ANA por Regiões Hidrográficas. **a.** Custo operacional médio anual (média dos custos dos Pontos) em milhares de R\$/unidade/ano. **b.** Componentes do custo operacional médio em milhares de R\$/unidade/ano.

a. Custo operacional médio anual por Região Hidrográfica (milhares R\$/unidade/ano)



b. Componentes do custo operacional médio anual (milhares R\$/unidade/ano)



4.3. Análise e discussão de resultados do diagnóstico

Dos resultados apresentados nos mapas por Região Geográfica (Figura 3), é possível verificar que a região com maior número de Pontos de Monitoramento é a região **Nordeste**, com aproximadamente **um terço** do número total. No que diz respeito à densidade, no entanto, as regiões **Sul e Sudeste** apresentam uma densidade **cinco vezes maior** que a encontrada na região **Norte**, que apresentou a menor densidade nacional, seguida da região Centro-Oeste.

No recorte por Regiões Hidrográficas (Figura 4), o **padrão litorâneo** da ocupação territorial no Brasil se mostrou evidente, com a maior densidade dos Pontos de Monitoramento sendo verificada nas regiões hidrográficas do Atlântico. A região hidrográfica com o maior número de Pontos de Monitoramento, entretanto, é a Região Hidrográfica do **Rio São Francisco**, possivelmente em razão de seu porte e aproveitamentos múltiplos. A Região Hidrográfica Amazônica, em função da sua abrangência, agrega a segunda maior quantidade de Pontos de Monitoramento.

Essas diferenças regionais na contagem de Pontos de Monitoramento já eram esperadas e refletem diferenças na ocupação do território, logística entre outras questões que contribuem para o gradiente de cobertura Sul-Norte e Litoral-Interior.

Em termos de custos operacionais totais por Região Geográfica, a região **Nordeste** foi identificada como a de maior representatividade, representando aproximadamente 40% do custo operacional total do País, seguida pela região Norte (23%). Sendo a região com uma quantidade moderada de Pontos de Monitoramento, a região Norte apresentou-se com o **maior custo operacional médio**, cerca de **duas vezes maior** que o custo operacional médio na Região Sul e Sudeste, regiões com o menor custo operacional médio. Esse resultado se explica pela maior complexidade logística de operação (coleta de dados, manutenção, etc) na região Norte, em virtude da menor disponibilidade de infraestrutura de acesso, dentre outras.

A mesma análise de custos operacionais totais e médios com o recorte por Região Hidrográfica revelou mais detalhes da distribuição dos custos em razão da maior discretização das regiões na parte litorânea. Assim, a **Região Hidrográfica Amazônica** foi identificada com a maior fração, representando cerca de 20% do custo operacional total. Outras regiões com custos operacionais totais relativamente altos se concentram no Nordeste, em destaque a região do **Atlântico Nordeste Oriental**, do **Rio São Francisco** e do **Atlântico Sudeste**. Por outro lado, a distribuição dos custos operacionais médios por Região Hidrográfica revelou que as regiões nordestinas atlânticas **Oriental, Ocidental e do Parnaíba** são aquelas onde os custos operacionais totais médios são os maiores, seguidas da região Amazônica.

As componentes dos custos operacionais médios e totais também foi avaliada por mapas temáticos em ambos os recortes de regiões. O padrão identificado em ambas as classes de regiões é que a componente **custo de medição** é a responsável pela maior parte do custo operacional, seguida da componente custo de manutenção e custo de pagamentos.

Outro comentário que merece destaque é que a média dos custos ficou superior a R\$ 10.500,00 anuais por Ponto de Monitoramento em todos os recortes. Este valor, que é uma média simples, é empregado como de referência na ANA (comunicação ANA, 2021) . Uma hipótese para que essa média tenha se apresentado muito inferior aos valores de fato levantados pela análise realizada é de que os valores usados para obter essa referência não tenham sido corrigidos por nenhum índice. Além disso, outra hipótese é que esse valor seja mais aproximado para a iniciativa privada e para as regiões sul e sudeste, e portanto não é uma média válida para o Brasil como um todo.

4.4. Conclusões do diagnóstico

As conclusões aqui apresentadas ainda são preliminares, uma vez que outros arranjos geográficos ainda podem ser analisados, especialmente a partir de *feedback* da Agência. As principais conclusões que advêm da análise de custos são:

- Dentre as componentes do custo de operação, os **custos de medição são os mais representativos**, em todas as regiões geográficas e regiões hidrográficas;
- O **Nordeste é a região com mais Pontos de Monitoramento** geridos pela ANA;
- As regiões **Sul e Sudeste apresentam os menores custos**, o que pode ser explicado por uma combinação do fator de ganho de escala e pela atuação nessas regiões de parceiros, como o Setor Elétrico e governos estaduais;
- As **diferenças regionais são grandes**, de modo que a utilização de valores médios para o país como um todo podem induzir a erros. A informação detalhada produzida aqui é útil no planejamento da expansão da RNH, considerando as diferenças regionais e por elementos de custo.
- As diferenças regionais de custos apresentam um **desenho de rede coerente**, já que a economia de escala obtida nas regiões Sul e Sudeste acabam por financiar os maiores custos envolvidos na logística e nas medições das regiões Norte e Nordeste, onde o potencial hidrelétrico é menor (logo o Setor Elétrico não mantém tantas Estações).

Referências

ANA (2016). Sistemas de informação na gestão das águas: conhecer para decidir - Caderno de capacitação em recursos hídricos. Volume 8.

ANA (2020). Sistema de informações sobre recursos hídricos. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019.

ANEEL (2021). http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/21283551. Acessado em 19/03/2021.

Contrato n. 048/2016 – COHIDRO.

Contrato n. 047/2016 – Construfam.

Contrato n. 041/2019 – Construfam.

Contrato n. 073/2016 – EPAGRI.

Contrato n. 071/2014 – UFC.

Grupo de trabalho ANA/CPRM (2017). Relato do planejamento da RHNR e a definição das estratégias de implementação para os próximos anos (5 anos);

Sistema Hidro - ANA, acesso em 08/10/2020 (API);

SIEST - Sistema estatístico da Rede Hidrometeorológica Nacional ANA, versão 1.1.2 (Power BI).

Sistema Telemetria - ANA, acesso em 08/10/2020 (API).

TED n. 13/2018/ANA – CPRM.

Os ícones do diagrama foram adquiridos de forma gratuita no site flaticom.com pelos direitos da Freepik Company

Apêndices

A seguir são apresentados os memoriais metodológicos para a composição dos custos dos Pontos de Monitoramento e a produção do Sistema de Informação dos Custos da Rede.

Apêndice I - Composição do custo unitário de operação

Os valores dos custos de um Ponto de Monitoramento da RHN foram obtidos através da análise ampla dos últimos contratos entre a ANA e as entidades operadoras. Esses contratos abrangem grande parte de todo o território nacional, a saber:

- COHIDRO - Contrato nº 048/2016
- CONSTRUFAM - Contrato nº 041/2019
- CONSTRUFAM - Contrato nº 047/2016
- CPRM - TED nº 13/2018/ANA
- EPAGRI - Contrato nº 073/2016
- UFC - Contrato nº 071/2014

Nesta análise dos contratos, foram estabelecidos pontos comuns entre os contratos, e separados em três componentes dos custos operacionais (Equação 1, no item 4.1): (1) inspeção e manutenção das Estações, (2) pagamento dos colaboradores que fazem o serviço de anotação e guarda das Estações, (3) medições realizadas no Ponto de Monitoramento.

Os valores dessas componentes foram atualizados para o ano de 2020 com os índices IGP-DI (FVG), IPCA (IBGE) e IPA-OG-DI (FGV), respectivamente. Posteriormente, foram aplicados os percentuais dos benefícios e despesas indiretas - BDI, dos contratos, obtendo assim o custo operacional atualizado de cada contrato.

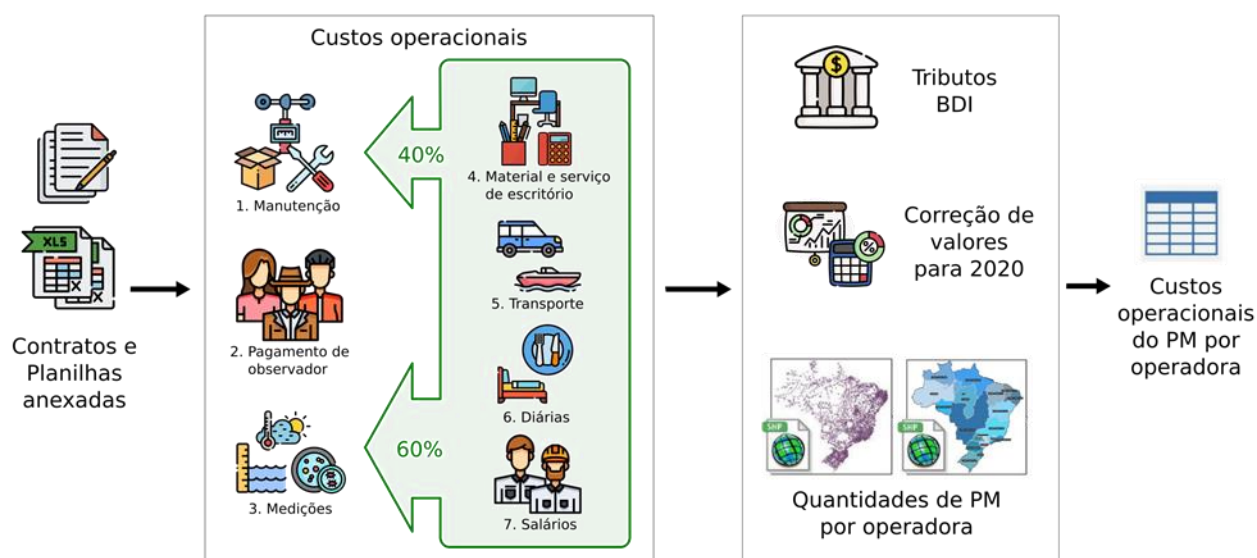
Os valores de custos dos pontos operados pela CPRM, através do Termo de Execução Descentraliza - TED, entre a ANA e a CPRM, foram obtidos

através de planilhas anexadas dos custos esperados para 2020. Assim, não foi preciso atualizar os valores, sendo realizado apenas o procedimento de separação das componentes dos custos.

Tendo em vista que cada contrato possui uma quantidade de Pontos de Monitoramento, ao dividir do valor total do custo operacional obtém-se o custo de operação por Ponto de Monitoramento. As quantidades de Pontos de Monitoramento foram obtidas pela indicação no próprio contrato, ou por meio da espacialização dos Pontos de Monitoramentos obtidos pelo sistema HIDRO e categorizados por áreas de abrangência de cada operadora através de SIG.

Deste modo, o resultado é apresentado em uma relação/tabela contendo o custo unitário de operação de cada Ponto de Monitoramento e, os custos unitários de cada uma das três componentes citadas acima. Por fim, a relação com os custos unitários de operação é o insumo principal do SIGRede, descrito no Apêndice II.

Figura 12 | Procedimento da composição do custo unitário de operação por Ponto de Monitoramento por operadora.

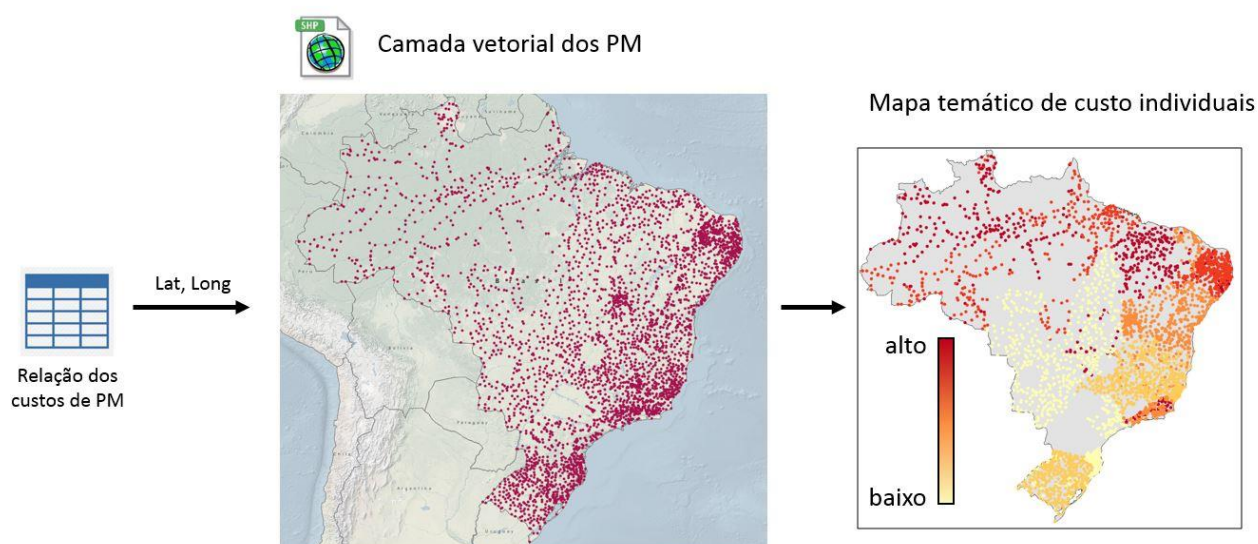


Apêndice II - O Sistema de Informação dos Custos da Rede - SIGRede

As estatísticas regionais dos custos dos Pontos de Monitoramento da RHN foram calculadas por métodos de geoprocessamento usando o software QGIS e por operações gerais de manejo de dados tabulares.

Inicialmente, a relação tabular dos Pontos de Monitoramento foi espacializada no território nacional por meio da informação de latitude e longitude existente em cada registro. Com isso, a relação tabular foi convertida em uma camada vetorial no QGIS e a distribuição individual dos PM e seus atributos de custo puderam ser visualizados em mapas temáticos de pontos.

Figura 13 | Procedimento de espacialização da relação tabular dos Pontos de Monitoramento (PM) da RHN e visualização dos custos em mapas temáticos.



A partir disso, foram selecionadas seis diferentes regiões para extração das estatísticas zonais. Os critérios para seleção das regiões foram: escala, separadas em três níveis, e planejamento, separado em político e hidrográfico. Assim, as regiões selecionadas foram: Regiões Geográficas, Unidades da Federação, Municípios, Regiões Hidrográficas, Sub-bacias DNAEE e Unidades de Planejamento de Recursos Hídricos. Os arquivos das camadas vetoriais das regiões foram obtidos no portal de metadados na ANA.

Para a extração das estatísticas de zonas optou-se pelo método descrito a seguir, também apresentado na Figura 14. Com a configuração de códigos identificadores de cada feição na tabela de atributos das zonas, os códigos identificadores locais foram amostrados nos registros de cada Ponto de Monitoramento pela ferramenta de extração *Select by Location* do QGIS. Dessa forma a tabela de atributos dos PM foi ampliada com novos campos para conter os códigos das regiões que cada PM se encontra.

Por conseguinte, a relação dos Pontos de Monitoramento foi exportada de volta para um arquivo tabular e processada para se obter as relações das zonas e as respectivas estatísticas dos custos. O processamento envolveu uma rotina de agregação das estatísticas em ambiente Python, usando a biblioteca *pandas* e a funcionalidade "*group by*". Seis estatísticas zonais foram determinadas para cada atributo de custo em cada região:

1. Contagem de PM na região;
2. Soma do custo;
3. Média do custo;
4. Valor máximo do custo;
5. Valor mínimo do custo;
6. Mediana do custo.

O processamento de cada região produziu uma relação tabular, que então foi re-inserida na tabela de atributos das camadas vetoriais das regiões no ambiente do QGIS, por meio do código identificador para união das relações.

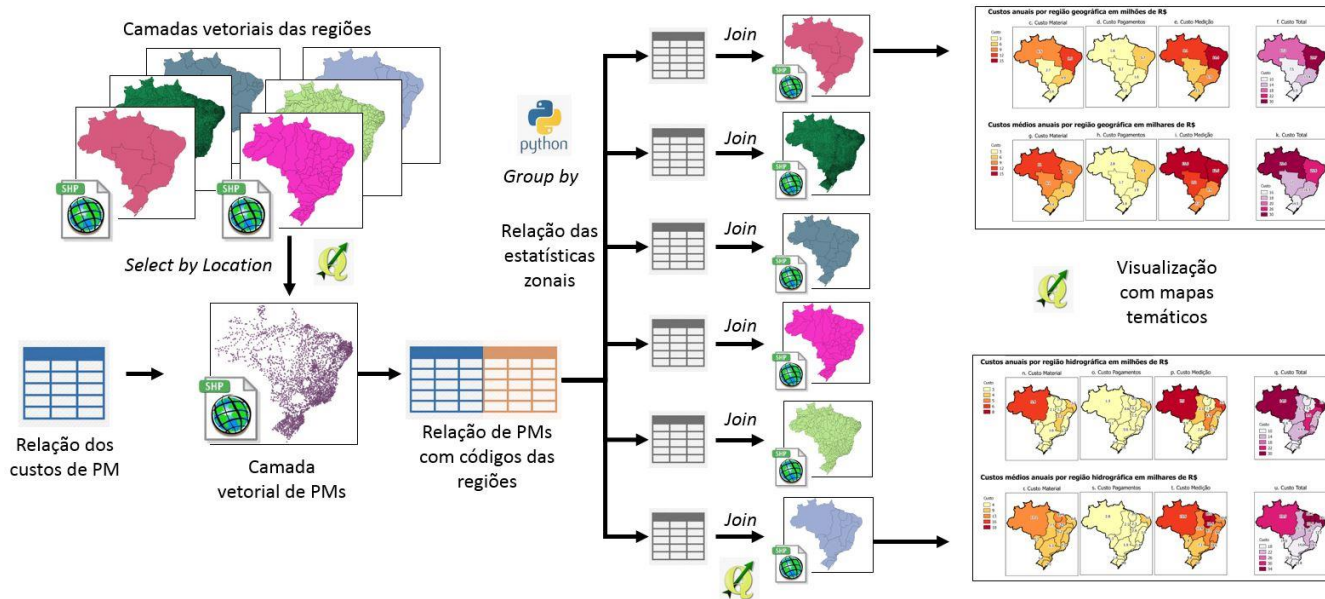
Finalmente, foi possível visualizar em mapas temáticos as estatísticas regionais dos custos pela edição da simbologia das camadas vetoriais das regiões. Análises que cruzam estatísticas e de densidade, com o uso da informação da área das zonas, também puderam ser realizadas a partir dessa etapa.

O método acima descrito envolveu a formulação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que pode ser baixado no seguinte URL:

<https://drive.google.com/file/d/1HPxUfeOGASmOziQTCGBZWV1VL-CV6i3D/view?usp=sharing>.

Esse SIG (Destaque 7) está documentado para uso posterior. A Tabela All-a abaixo apresenta a relação das camadas disponíveis no SIG. A Tabela All-b apresenta o dicionário de atributos da camada dos Pontos de Monitoramento (camada R016). A Tabela All-c apresenta o dicionário de atributos das estatísticas zonais presentes nas camadas R017, R018, R019, R020, R021, R022, R023, R024.

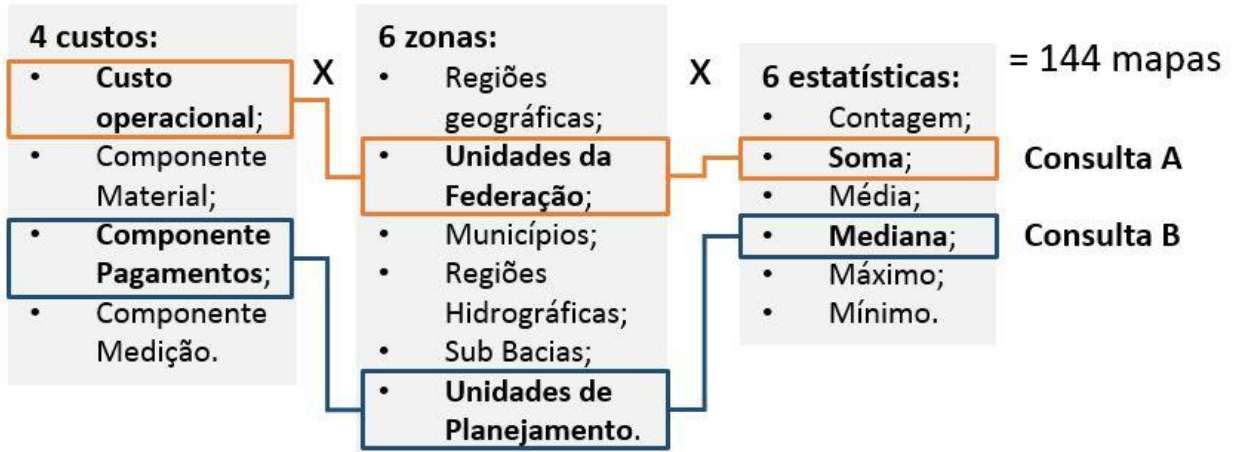
Figura 14 | Fluxograma metodológico da extração das estatísticas regionais dos custos da RHN.



Destaque 7 | Consultas e visualizações com o SIG Rede

O SIG Rede inclui mapas pré-processados de seis estatísticas zonais das componentes dos custos de operação em seis regiões temáticas. Isso resultou em **144 mapas potencialmente visualizáveis**. A consulta e visualização deverá ser realizada em ambiente SIG Desktop através da operação de união (*join*) das relações de custo e as geometrias das zonas amostradas.

SIG Rede



Consulta A



Consulta B

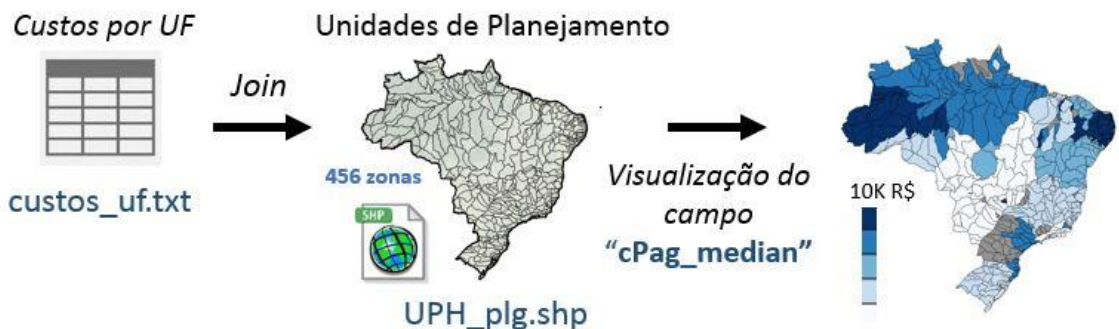


Tabela All-a | Cadastro de camadas disponíveis no SIG dos custos da rede.

Código	Dado	Nome arquivo	Geometria	Formato
R000	Banco de dados do Pontos de Monitoramento	R000__bdPM.txt	sem geometria	tabular
R001	Estações da Rede Hidrometeorológica Nacional	R001__RHN_pts.shp	pontos	camada vetorial
R002	Estações da Rede Hidrometeorológica de Referência	R002__RHNR_pts.shp	pontos	camada vetorial
R003	Regiões Hidrográficas do Brasil	R003__RH_plg.shp	polígonos	camada vetorial
R004	Unidades de Planejamento de Recursos Hídricos	R004__UPH_plg.shp	polígonos	camada vetorial
R005	Hidrografia e disponibilidade hídrica (q95)	R005__Hidro_lin.shp	linhas	camada vetorial
R006	Limite Nacional	R006__BR_plg.shp	polígonos	camada vetorial
R007	Limite Estados	R007__UF_plg.shp	polígonos	camada vetorial
R008	Regiões Nacionais	R008__RN_plg.shp	polígonos	camada vetorial
R009	Limite Municípios	R009__Municip_plg.shp	polígonos	camada vetorial
R010	Sedes municipais	R010__SedesMunicp_pts.shp	pontos	camada vetorial
R011	Inventário de Estações da Rede Hidro	R011__RedeHidro_pts	pontos	camada vetorial
R012	Inventário de Estações Telemétricas da Rede Hidro	R012__RedeTelemetrica_pts	pontos	camada vetorial
R013	Subbacias DNAEE	R013__SubbaciasDNAEE_plg	polígonos	camada vetorial
R014	Regiões do Brasil	R014__RegioesBr_plg	polígonos	camada vetorial
R015	Estações da RHN operadas pela ANA	R015__RHN_ANA_pts	pontos	camada vetorial
R016	Pontos de Monitoramento da RHN operados pela ANA	R016__RHN_ANA_PM_pts	pontos	camada vetorial
R017	Estatística zonal do custos por municípios	R0017__custos_muni	sem geometria	tabular
R018	Estatística zonal do custos por operadora	R0018__custos_operadora.txt	sem geometria	tabular
R019	Estatística zonal do custos por região	R0019__custos_regiao.txt	sem geometria	tabular
R020	Estatística zonal do custos por região hidrográfica	R0020__custos_rh.txt	sem geometria	tabular
R021	Estatística zonal do custos por unidade da federação (estados e DF)	R0021__custos_uf.txt	sem geometria	tabular
R022	Estatística zonal do custos por sub bacia	R0022__custos_sub.txt	sem geometria	tabular
R023	Estatística zonal do custos por unidade de planejamento hídrico	R0023__custos_uph.txt	sem geometria	tabular

Tabela All-b | Dicionário dos atributos da camada R016 – Ponto de Monitoramento.

Campo	Descrição do campo
codPM	Código identificador do Ponto de Monitoramento (código interno do SIG, não oficial)
nmPM	Nome do Ponto de Monitoramento
latitude	Latitude em graus (SIRGAS 2000)
longitude	Longitude em graus (SIRGAS 2000)
tipoPM	Classe de tipologia do Ponto de Monitoramento
tipoEst	Classe de tipologia das Estações do Ponto de Monitoramento
sglOpera	Sigla da entidade Operadora
periodIni	Período do início de operação
periodFim	Período do fim da operação
nmReg	Nome da Região Geográfica
sglUF	Sigla da Unidade da Federação
nmUF	Nome da Unidade da Federação
nmMun	Nome do Município
codMun	Código IBGE do Município. Observação: possui o caractere # como prefixo para proteção do formato em texto
codRH	Código da Região Hidrográfica
codSub	Código da Sub-bacia DNAEE
codUPH	Código da Unidade de Planejamento de Recursos Hídricos
codPLU	Código ANA da estação pluviométrica do Ponto de Monitoramento
codFLU	Código ANA da estação fluviométrica do Ponto de Monitoramento
coletaPLU	Classe de tipologia de coleta de dados da estação pluviométrica
P	Indicador booleano da coleta pluviométrica
Pr	Indicador booleano da coleta com pluviógrafo
E	Indicador booleano da coleta com tanque evaporimétrico
C	Indicador booleano da coleta com estação climatológica
PT	Indicador booleano da coleta pluviométrica com telemetria
coletaFLU	Classe de tipologia de coleta de dados da estação fluviométrica
F	Indicador booleano da coleta fluviométrica
Fr	Indicador booleano da coleta com fluviógrafo
D	Indicador booleano da coleta com medição de descarga
S	Indicador booleano da coleta com medição de sedimentos
Q	Indicador booleano da coleta de qualidade de água
FT	Indicador booleano da coleta fluviométrica com telemetria
cMat	Custo anual - componente de material
cPag	Custo anual - componente de pagamentos
cMed	Custo anual - componente de medição
cUnit	Custo anual unitário do Ponto de Monitoramento (cMat + cPag + cMed)

Tabela All-c | Dicionário dos atributos de estatística zonais, presentes nas camadas R017, R018, R019, R020, R021, R022, R023, R024.

Campo	Descrição
cMat_count	Contagem do Custo anual - componente de material
cMat_sum	Soma do Custo anual - componente de material
cMat_mean	Média do Custo anual - componente de material
cMat_max	Valor máximo do Custo anual - componente de material
cMat_min	Valor mínimo do Custo anual - componente de material
cMat_media	Mediana do Custo anual - componente de material
cPag_count	Contagem do Custo anual - componente de pagamentos
cPag_sum	Soma do Custo anual - componente de pagamentos
cPag_mean	Média do Custo anual - componente de pagamentos
cPag_max	Valor máximo do Custo anual - componente de pagamentos
cPag_min	Valor mínimo do Custo anual - componente de pagamentos
cPag_media	Mediana do Custo anual - componente de pagamentos
cMed_count	Contagem do Custo anual - componente de medição
cMed_sum	Soma do Custo anual - componente de medição
cMed_mean	Média do Custo anual - componente de medição
cMed_max	Valor máximo do Custo anual - componente de medição
cMed_min	Valor mínimo do Custo anual - componente de medição
cMed_media	Mediana do Custo anual - componente de medição
cUnit_coun	Contagem do Custo anual unitário do Ponto de Monitoramento
cUnit_sum	Soma do Custo anual unitário do Ponto de Monitoramento
cUnit_mean	Média do Custo anual unitário do Ponto de Monitoramento
cUnit_max	Valor máximo do Custo anual unitário do Ponto de Monitoramento
cUnit_min	Valor mínimo do Custo anual unitário do Ponto de Monitoramento
cUnit_medi	Mediana do Custo anual unitário do Ponto de Monitoramento