

Estudos de Longo Prazo

Disponibilidade Hídrica e Usos Múltiplos

Documento de Apoio ao PNE 2050

Dezembro de 2018



(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - "double sided")



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE

MINISTRO DE ESTADO
WELLINGTON MOREIRA FRANCO

PRESIDENTE
REIVE BARROS DOS SANTOS

SECRETÁRIO EXECUTIVO
MÁRCIO FELIX CARVALHO BEZERRA

DIRETOR DE ESTUDOS ECONÔMICO-ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS
THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA

SECRETÁRIO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO
EDUARDO AZEVEDO RODRIGUES

DIRETOR DE ESTUDOS DE ENERGIA ELÉTRICA
AMILCAR GONÇALVES GUERREIRO

SECRETÁRIO DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E COMBUSTÍVEIS
JOÃO VICENTE DE CARVALHO VIEIRA

DIRETOR DE ESTUDOS DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS
JOSÉ MAURO FERREIRA COELHO

SECRETÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA
ILDO WILSON GRUDTNER

DIRETOR DE GESTÃO CORPORATIVA
ÁLVARO HENRIQUE MATIAS PEREIRA

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL
VICENTE HUMBERTO LÔBO CRUZ

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE

ESPLANADA DOS MINISTÉRIOS
BLOCO U – 5º ANDAR
70065-900 – BRASÍLIA – DF
TEL.: (55 61) 3319 5299
FAX: (55 61) 3319 5067

WWW.MME.GOV.BR

ESCRITÓRIO CENTRAL

AV. RIO BRANCO, 01 – 11º ANDAR
20090-003 – RIO DE JANEIRO – RJ
TEL.: (55 21) 3512 3100
FAX : (55 21) 3512 3198

WWW.EPE.GOV.BR

Dezembro 2018

Participantes - EPE

COORDENAÇÃO EXECUTIVA

EMÍLIO HIROSHI MATSUMURA

THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA

COORDENAÇÃO TÉCNICA

ANGELA REGINA LIVINO DE CARVALHO

GUSTAVO FERNANDO SCHMIDT

EQUIPE DE APOIO

CLEITON LEANDRO ALVES FERREIRA (ESTAGIÁRIO)

EQUIPE TÉCNICA

ANA COSTA MARQUES MACHADO

DANIEL FILIPE SILVA

FERNANDA GABRIELA B. DOS SANTOS

GUILHERME DE PAULA SALGADO

LUIS PAULO SCOLARO CORDEIRO

RENATA DE AZEVEDO MOREIRA DA SILVA

RENATO HADDAD SIMÕES MACHADO

1. Introdução

Este relatório aborda os principais desafios associados à disponibilidade hídrica e aos conflitos pelos usos múltiplos da água e como estes podem afetar a estratégia de expansão do setor de energia (eletricidade e combustíveis) no longo prazo.

Conforme fundamenta a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei Federal 9.433/97, é necessário compatibilizar o desenvolvimento do potencial hidrelétrico brasileiro com os diversos usos da água, no qual há perspectiva cada vez maior de conflitos pelos usos da água, lustrando com os casos da Hidrovia Tietê-Paraná e recente escassez de chuvas verificada na região Nordeste.

Para fins de cômputo do potencial hidrelétrico e como informação para a entrada nos modelos, no PNE 2050, optou-se por considerar apenas os projetos que já possuem, no mínimo, estudos de inventário aprovados na ANEEL, devido à disponibilidade e a confiabilidade das informações acerca dos aproveitamentos. Nessa etapa dos estudos, de inventário hidrelétrico, são avaliadas as interfaces dos projetos identificados com as demandas para os diversos usos existentes na bacia hidrográfica, visando minimizar os conflitos e racionalizar a sua utilização (Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas, MME/CEPEL, 2007). Nesses estudos está previsto um diagnóstico dos usos atuais, além de projeções compatíveis com o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que indiquem as parcelas de vazão e de queda comprometidas com os usos múltiplos da água que limitam a geração de energia, tais como:

- Perdas líquidas de vazão devido as captações de água para os usos consuntivos e transposições para outras bacias, quando for o caso.

- Vazões utilizadas na operação de eclusas, quando for necessário.
- Tirantes para a navegação.
- Volumes a alocar em reservatórios e vazões de restrição para o controle de cheias.
- Vazões mínimas necessárias a jusante para atendimento aos usos múltiplos da água e as necessidades ambientais.
- Possíveis limitações à operação dos reservatórios em função da exploração dos mesmos pelo turismo.

Assim, os projetos que são considerados na modelagem matemática já carregam no seu dimensionamento a avaliação quanto aos usos múltiplos da água, por ocasião da realização dos estudos de inventário hidrelétrico. As restrições devido aos demais usos da água são consideradas no momento de avaliação da energia que cada projeto pode agregar ao sistema.

Este documento está estruturado em mais 4 seções além desta Introdução. Na seção 2, é visto como os planos de recursos hídricos levam em consideração a evolução do setor elétrico. Em seguida é analisado como o setor elétrico é influenciado pela questão da disponibilidade hídrica na avaliação das perspectivas da hidreletricidade e da termoeletricidade. Por fim, a última seção sugere algumas recomendações a serem implantadas para melhor representar a questão no planejamento energético.

2. Interface entre o Setor Elétrico e Planos de Recursos Hídricos

De maneira geral, os planos de recursos hídricos e a legislação consultados (Tabela 1) citam a importância do setor energético e a necessidade de se compatibilizar os diversos usos da água. No entanto, a questão energética é tratada de maneira superficial, sem indicações objetivas de restrições à implantação ou operação de hidrelétricas ou termelétricas.

A mesma constatação é feita com relação à incorporação de cenários futuros de médio e longo prazo de evolução do setor elétrico: os estudos das bacias hídricas apenas mencionam, sem análise mais profunda, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e as prioridades de usos múltiplos em situações de escassez.

Tabela 1 – Planos e Legislação que Tratam de Recursos Hídricos

Tema	Documentos
Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH
	Cadernos setoriais do PNRH
	Cadernos de regiões hidrográficas
Plano Estratégico de Recursos Hídricos	Plano Estratégico de Recursos Hídricos dos Afluentes da Margem Direita do Rio Amazonas – PERH-MDA
Plano Nacional de Integração Hidroviária	Plano Nacional de Integração Hidroviária – PNIH
Planos de bacias hidrográficas	Plano de Bacia: Paranapanema
	Plano de Bacia: Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ)
	Plano de Bacia: Paraíba do Sul (Ceivap)
	Plano de Bacia: São Francisco
Legislação	Lei 9433/97
	Leis estaduais
	Resoluções ANA

De maneira objetiva, o PERH-MDA sugere ampliar o debate sobre a exploração do potencial hidrelétrico na região. O plano recomenda ainda um tratamento especial para a Bacia do rio Tapajós, sem embargo dos estudos e procedimentos de licenciamento regulamentares, promovendo-se uma análise do conjunto dos empreendimentos planejados, da sequência de implantação e de associação com outros empreendimentos de modo a assegurar o melhor uso múltiplo de suas águas e promover os *trade-offs* e compensações aplicáveis.

Muito embora os planos de bacia sejam os instrumentos que devem orientar os procedimentos de outorga para usos dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas, não foram observadas indicações quanto à implantação ou restrições à projetos de geração de energia, sejam hidrelétricos ou termelétricos, nos planos consultados.

Dentre os planos das grandes bacias de comitês federais consultados, o Ceivap deixa claro os trechos reservados para aproveitamento hidrelétrico bem como regras de operação dos complexos hidrelétricos existentes.

O plano de bacia do Comitê Federal do Paranapanema, por sua vez, apenas menciona a existência de PCH e potencial para novos projetos na região do Médio Paranapanema, em seus afluentes da margem direita e esquerda.

Os outros comitês, como o PCJ, tratam a questão energética de maneira superficial (geração de energia é a 10ª prioridade no caso do PCJ), sendo

que as decisões relativas à casos específicos são tratadas por meio de deliberações dos Comitês de Bacia.

Tal ponto demonstra, claramente, a necessidade de articulação entre os órgãos no sentido de promover os usos múltiplos da água e, sobretudo, de se identificar as restrições impostas a um ou a outro uso na busca por esse uso conjunto.

3. Hidreletricidade

3.1. Modelagem matemática

Como parte do processo de planejamento do atendimento à demanda de energia elétrica está a utilização de um modelo matemático capaz de fornecer uma trajetória de expansão da geração e transmissão de eletricidade. Evidentemente o planejamento decenal e o de longo prazo apresentam finalidades diferentes dentro do contexto energético, em especial devido e ao grau de incerteza das variáveis associadas a cada um dos estudos.

Entretanto, ambos utilizam o Modelo de Decisão de investimento (MDI) – disponível na página da EPE - que apresenta como principal resultado uma expansão ótima do sistema de geração e transmissão, sujeita a uma série de condicionantes que buscam traduzir questões energéticas, técnico-econômicas e socioambientais. No entanto, entende-se que suas abordagens e funcionalidades devem ser diferenciadas em virtude das diferenças dos horizontes de estudo.

Apesar de considerar restrições operativas, como a necessidade de atendimento a demanda máxima e limites de interligações entre as regiões, a representação da operação do sistema é simplificada no MDI, o qual tem por objetivo detalhar as decisões de investimento.

Nesse sentido, o modelo não define a operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas durante o processo de otimização, trabalhando diretamente com as séries de energia mensais de cada usina. Essas séries são obtidas por meio de simulação hidrotérmica prévia do sistema, realizada com o modelo SUSHI (simulador a usinas individualizadas em sistemas hidrotérmicos interligados).

Cabe aqui evidenciar, que o modelo SUSHI utiliza toda a série hidrológica histórica (de 1931 até o último ano consolidado¹¹) e os usos consuntivos cadastrados em suas simulações, considerando toda a complexidade da operação, como função de produção e característica de cada reservatório, além da aleatoriedade das hidrologias. O modelo SUSHI, por sua vez, recebe informações referentes ao valor da água no tempo do modelo NEWAVE, utilizado também no planejamento da operação pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

No planejamento de longo prazo, que possui um viés estratégico e, portanto, com menor foco nos detalhes da operação, o MDI utiliza 2 séries de energia: média e crítica. A expansão deve ser planejada para atender tanto o cenário de hidrologia médio como o crítico. Dessa maneira, ainda que não ocorra uma simulação detalhada da operação assegura-se que, no longo prazo, o sistema apresenta robustez quando da ocorrência de uma hidrologia muito desfavorável.

Já no PDE, que possui horizonte de 10 anos e conseqüentemente necessidade de maior detalhamento, o MDI utiliza 10 séries hidrológicas para a definição da expansão indicativa, visando uma melhor captura dos efeitos da dispersão dos cenários. Após a sinalização da expansão ótima obtida com o MDI é realizada uma simulação com o modelo NEWAVE, que avalia de forma mais detalhada a operação dos reservatórios. Por sua vez no NEWAVE são utilizadas 2.000 séries hidrológicas sintéticas de forma a melhor definir os riscos e demais parâmetros estatísticos envolvidos na operação hidrotérmica. Ainda assim, o modelo NEWAVE não discretiza todos os detalhes da

¹¹ Para o PNE 2050 os estudos foram feitos com o histórico de vazões de 1931 até 2016. Dessa maneira, foram incluídas as séries dos anos mais recentes que apresentaram baixas afluências nas bacias hidrográficas do Nordeste.

operação, sendo que análises complementares precisam ser realizadas para estudos específicos.

No PDE 2026, por exemplo, foi realizada uma sensibilidade para avaliar a expansão do sistema frente à mais severa crise hídrica de vazões do rio São Francisco, a qual vêm ocorrendo desde 2012.²

O resultado evidenciou que os modelos utilizados não consideram com probabilidade significativa o fenômeno hidrológico vivido, possivelmente apresentando uma geração de energia maior que a verificada naquele momento.

Dentre as possíveis causas foram elencadas a disponibilidade de dados, tanto de vazões como de usos múltiplos, além da discretização temporal e espacial do modelo.

Ainda assim, as avaliações apontaram que a região Nordeste poderia atender à sua carga com segurança, mesmo em situações hidrológicas desfavoráveis.

De toda forma, nessa avaliação, ficou evidenciada a necessidade de revisão dos dados

3.2. Validade da modelagem matemática

Há uma dificuldade para representar de forma adequada os fenômenos físicos e climáticos relacionados às restrições hídricas. Se por um lado, os modelos utilizados ainda carecem de maior detalhamento na modelagem, por outro lado os dados de entrada também carecem de validação frente à grande velocidade das alterações nos fenômenos físicos.

de entrada e dos processos de planejamento. Esse é um trabalho que deve ser envolver as diversas instituições e agentes do setor.

Estudos como esses ilustram como avaliações específicas podem ser feitas no âmbito e de acordo com o objetivo de cada plano.

Cumprir destacar que, tanto no planejamento decenal como no de longo prazo, busca-se responder questões específicas por meio de análises qualitativas e cenários de sensibilidade.

Análises específicas permitem, por exemplo, avaliar a adequação do sistema diante de situações conjunturais, as quais, por vezes, estão dentro dos riscos aceitáveis do processo de planejamento, mas que, dependendo da consequência que trazem, merecem tratamento e atenção especial.

Para isso, é de extrema importância que, não só o planejador, mas todos os agentes do setor estejam imbuídos do intuito de promover ao país um sistema elétrico seguro e econômico e atuem nas diversas ações necessárias.

Quanto à modelagem, usualmente os modelos de otimização do setor (tais como o modelo NEWAVE, por exemplo) representam a componente hidrológica como um processo estacionário, ou seja, como se todas as características do comportamento do processo não fossem alteradas no tempo.

Esta premissa vem sendo questionada e já existem diversos trabalhos que apontam para a não estacionariedade das vazões especialmente em

² Segundo o relatório Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017 (ANA, 2017) desde 2012, a bacia do São Francisco vem enfrentando condições hidrológicas adversas, com vazões e precipitações abaixo da média, com consequências nos níveis de armazenamento de seus reservatórios. Entre 2014 a 2016 foram registradas as menores vazões naturais médias anuais no reservatório de Sobradinho desde 1931. Nessa situação, regras de operação de reservatórios vem sendo definidas por meio de resoluções específicas, visando garantir água para os diversos usos

bacias hidrográficas com grandes alterações no uso do solo. O aprimoramento metodológico para a consideração da não estacionariedade das vazões nos modelos de otimização pode gerar um grande ganho para as avaliações de resiliência do parque gerador existente perante as mudanças de uso do solo e climáticas do futuro.

Com relação aos dados utilizados na simulação também existem esforços necessários à incorporação de estudos recentes da Agência Nacional de Águas que apontam alterações significativas nos padrões de usos consuntivos e evaporações nos reservatórios das UHE, sendo que estes dados, além de serem utilizados diretamente pelos modelos energéticos, também influenciam nas próprias séries de vazões (que são reconstituídas a partir de metodologias que consideram as “devoluções” associadas às evaporações e captações para usos consuntivos).

Dessa forma, mesmo os dados hoje considerados como “observados” podem guardar significativos desvios por não observarem a adequada evolução no padrão de captação e evaporação, especialmente para o período mais recente (como por exemplo para os últimos 20 anos nos quais o Brasil evoluiu significativamente na produção agrícola e na pecuária extensiva, ambos processos que alteram o comportamento das vazões nos rios).

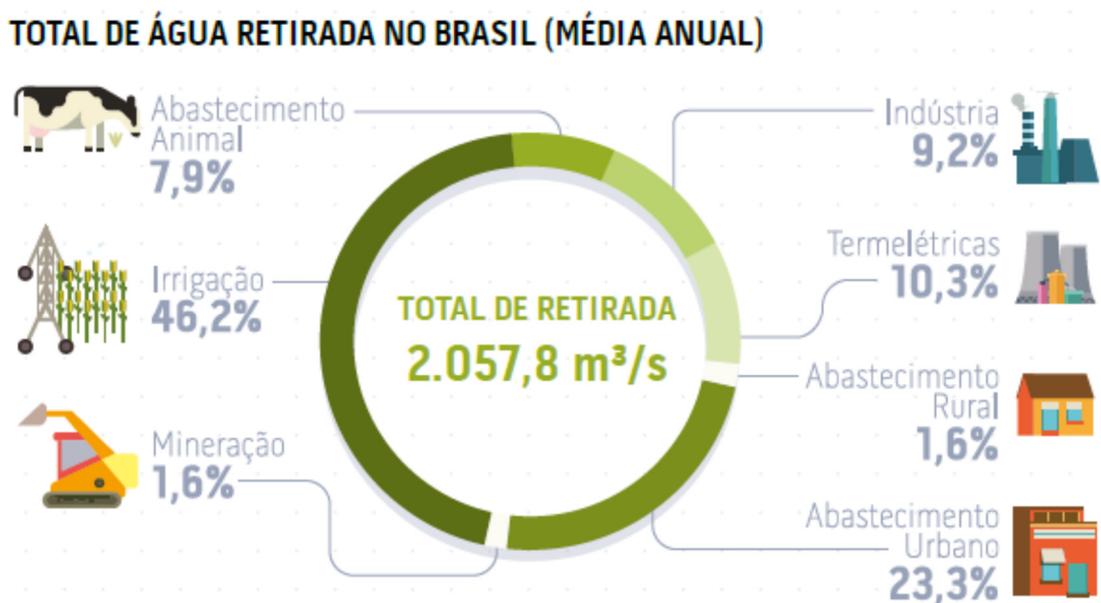
Existem também dificuldades associadas às premissas para elaboração de cenários futuros de conflito pelo uso da água, posto que muitas vezes os estudos que envolvem mudanças climáticas geram insumos contraditórios sobre a evolução do padrão de chuvas ou de temperatura (variáveis que impulsionam a demanda hídrica especialmente nos setores de abastecimento humano e da agroindústria).

4. Termelétricidade

A geração termelétrica demanda altos volumes de água, basicamente, devido às tecnologias dos sistemas de resfriamento comumente adotadas no Brasil. Nesse sentido, as informações da Agência Nacional de Águas (ANA) apontam que a termelétricidade é responsável por 10,3% do total de retirada de água no Brasil, sendo o terceiro maior usuário de água, atrás apenas do abastecimento

urbano e da irrigação. Estimou-se em cerca de 216 m³/s a vazão retirada para atendimento das termelétricas em 2016, com destaque para os estados do Amazonas, Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina (ANA, 2018).

Figura 1 – Total de água retirada no Brasil



Fonte: ANA (2018)

Tendo em vista a perspectiva de expansão das termelétricas diante de um contexto de aumento de conflitos pelos usos da água, sobretudo em bacias apontadas como críticas, surge a necessidade de identificar, no âmbito do planejamento energético, quais seriam as implicações futuras dessa expansão e quais as adaptações necessárias para um novo cenário de disponibilidade hídrica.

O PDE 2026 apontou a questão da localização das usinas termelétricas indicativas frente à situação hidrológica da região Nordeste. Como a bacia do Rio São Francisco vem apresentando afluências

desfavoráveis nos últimos anos com perspectivas de manutenção desse panorama mais à frente, há ainda a possibilidade de agravamento da situação face ao aumento crescente nos usos consuntivos da água, que, no entanto, não estão ainda incluídos nos estudos de planejamento da operação do sistema.

Para fins de planejamento energético, tanto PNE como no PDE, a expansão de termelétricidade, diferentemente do tratamento dado às usinas hidrelétricas, não representa a construção de projetos reais, apenas um indicativo da necessidade

de expansão dessa fonte em determinada região do país.

Assim, *a priori*, os futuros empreendimentos possuem certa flexibilidade locacional, embora a disponibilidade e o transporte de combustível sejam fatores relevantes para a localização das usinas. A demanda energética, no entanto, indica que a expansão irá ocorrer próxima aos centros de carga, em geral, em regiões que concentram diversos outros usuários de água e nas quais se pode esperar, no futuro, um aumento pelos conflitos pelo uso da água.

Para compreender o impacto da implantação de uma usina termelétrica sobre a disponibilidade hídrica local, a avaliação deve ser desenvolvida em estudos aprofundados, para projetos específicos, por exemplo, nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e aqueles necessários para a obtenção de outorga pelo uso da água.

No entanto, esses estudos podem não estar sendo suficientes, seja no sentido de não realizarem a avaliação corretamente, seja no sentido de não conseguirem representar e/ou acompanhar a evolução dos demais usos da água e as mudanças nos padrões hidrológicos.

Analisando usinas termelétricas em operação, o IEMA (2018) sugere que a questão de sua implantação não levou em consideração prévia a situação ambiental das regiões onde foram instaladas, em particular a inadequação dos recursos hídricos. Além disso, diante da perspectiva de maior

participação da termelétrica na matriz elétrica, deve ser olhada à luz do território, e não apenas por um viés ambiental, como também por uma questão socioeconômica. Nesse sentido, indica dois caminhos – alternativas tecnológicas e uma integrada gestão setorial.

Primeiramente apontam-se alternativas tecnológicas para a redução da demanda de água, adotados em outros países, como os sistemas de resfriamento a ar ou sistemas híbridos ar-água. No Brasil, no entanto, esta tecnologia praticamente não tem sido considerada no presente, em parte, em função de custos maiores comparativamente aos sistemas de resfriamento a água. No futuro, caso haja o aumento dos custos de mitigação dos impactos socioambientais em regiões críticas ou a efetiva implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, essa questão poderá ser retomada

O outro caminho diz respeito à necessidade de maior integração entre o planejamento do setor elétrico e a política ambiental e de recursos hídricos. Nesse sentido deve-se discutir qual o papel dos planos de recursos hídricos e em que aspectos o planejamento energético deve avançar para incluir outros setores usuários dos recursos hídricos. Abrir a discussão com os órgãos gestores de recursos hídricos, sobretudo a ANA, é a sugestão para o início.

Também nessa linha podem ser desenvolvidos estudos de macrolocalização de empreendimentos que considerem a disponibilidade hídrica, como alternativa para uma visão mais abrangente e regional.

5. Recomendações

Tendo em vista a perspectiva de expansão das termelétricas diante de um contexto de aumento de conflitos pelos usos da água, sobretudo em bacias apontadas como críticas, surge a necessidade de identificar, no âmbito do planejamento energético,

quais seriam as implicações futuras dessa expansão e quais as adaptações necessárias para um novo cenário de disponibilidade hídrica. Nesse sentido, são apontadas ações para aprimoramento do planejamento energético.

5.1. Aprimoramento da modelagem

Essa iniciativa contempla as seguintes medidas:

- Aprimoramento dos dados de entrada dos modelos (séries hidrológicas, séries de usos consuntivos e parâmetros dos projetos) e dos processos de planejamento (os modelos atuais são adequados?). Esse é um trabalho que deve ser iniciado o mais breve possível, envolvendo diversas instituições e agentes do setor. A construção de uma base de dados comum entre os diversos agentes facilitaria a interação e dinamiza o processo de participação no planejamento.
- Criação de cenários de restrições futuras (usos consuntivos e não consuntivos), para todo o horizonte de longo prazo, para os

projetos existentes e futuros, incorporando discussões com a ANA.

- Discutir formas de internalizar as alterações hidrológicas na modelagem de maneira a avaliar os efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, na geração de energia hidrelétrica. (Alterar séries de vazões ou alterar a modelagem, com enfoque não estacionário?)
- Desenvolver metodologia para incorporar no planejamento restrições para implantação de termelétricas associadas à indisponibilidade de recursos hídricos (custos? Restrições locais?).

5.2. Elaboração de estudos hidrológicos

Elaboração de estudos hidrológicos consistentes de forma a criar uma série compatível para todos os projetos hidrelétricos, atuais e futuros, em particular, com compatibilidade com os utilizados na operação (ONS).

Novamente cita-se o projeto Meta que apresenta esse objetivo.

Também considerar a elaboração de estudos específicos abrangendo os efeitos das mudanças climáticas e do uso do solo nas regiões do Brasil, no regime de vazões afluentes às usinas hidrelétricas.

Nesse caso, seria particularmente importante analisar o comportamento das usinas hidrelétricas no Nordeste, sobretudo do rio São Francisco. Montar cenários quantitativos para considerar os efeitos da crise hídrica com o aumento dos usos consuntivos futuros, talvez considerando apenas a bacia hidrográfica do rio São Francisco

5.3. Aumentar a articulação com ANA e demais instituições ligadas à questão hídrica

Necessidade de realizar articulação institucional com outros agentes, sobretudo a ANA.

É fundamental promover a integração entre as políticas públicas dos diversos setores com foco na

melhor utilização da água, levando-se em conta sua utilização no setor elétrico bem como nos demais setores.

6. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL 2017: RELATÓRIO PLENO. BRASÍLIA, 2017.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). A TERMELETRICIDADE NO NOVO CONTEXTO DO SETOR ELÉTRICO: A IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS. SÃO PAULO, 2018.