

Análise Custo-Benefício de Medidas de Adaptação à Mudança do Clima na Bacia Hidrográfica dos Rios Piancó-Piranhas-Açu

Produto 1C: Apêndice Técnico 3 -Simulações de Alocação de Água na Bacia a partir de um Sistema de Suporte à Decisão (AcquaNet)

16 de novembro de 2016

ESTUDO

Análise Custo-Benefício de Medidas de Adaptação à Mudança do Clima na Bacia Hidrográfica dos Rios Piancó-Piranhas-Açu

APOIO

Agência Nacional de Águas

PROJETO

Apoio à Elaboração de Análise de Custo-benefício (ACB) de Medidas de Adaptação em Bacia Hidrográfica e Avaliação de Uso de Instrumentos Econômicos na Gestão de Recursos Hídricos

EQUIPE

Alexandre Gross, FGVces
Layla Nunes Lambiasi, FGVces
Daniel Tha, FGVces
Gustavo Velloso Breviglieri, FGVces
Guarany Osório, FGVces
Inaiê Takaes Santos, FGVces
Guilherme Borba Lefèvre, FGVces
Mario Prestes Monzoni Neto, FGVces

FOTOGRAFIA

Daniel Tha, FGVces

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao corpo técnico da Agência Nacional de Águas pelas valiosas contribuições durante a elaboração deste estudo, especialmente à equipe da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos e da Gerência Geral de Estratégia.

AVISO

O conteúdo apresentado neste estudo é de responsabilidade da equipe do GVces e não representa necessariamente a posição oficial da Agência Nacional de Águas sobre o tema. Estudo elaborado em 2016/2017/2018. Publicado em março de 2018.

CITAR COMO

FGVces. Análise Custo-Benefício de Medidas de Adaptação à Mudança do Clima na Bacia Hidrográfica dos Rios Piancó-Piranhas-Açu: Produto 1C – Apêndice 3. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas. São Paulo, 2016.

REALIZAÇÃO



CENTRO DE ESTUDOS
EM SUSTENTABILIDADE

Sumário

1.	CONTEXTUALIZANDO	5
2.	O SSD ACQUANET E A REDE DE FLUXO UTILIZADA.....	6
2.1	ESTUDOS DE APOIO E A REDE CONSOLIDADA.....	7
3.	DESCRIÇÃO E LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE.....	8
3.1	DADOS DE ENTRADA	8
3.2	CENÁRIOS FUTUROS SIMULADOS.....	10
4.	CONSOLIDANDO A REDE DE FLUXO ACQUANET.....	12
4.1	DETALHAMENTO DA CONFIGURAÇÃO ADOTADA	12
4.2	PREMISSAS ESPECÍFICAS.....	16
4.3	ALOCAÇÃO RESERVATÓRIO-MUNICÍPIO	22
5.	RESULTADOS	25
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1 - ESTRUTURA DA SUB-BACIA REPRESENTATIVA DE CADA RESERVATÓRIO	13
FIGURA 4.2 - REDE ACQUANET CONSOLIDADA.	14
FIGURA 4.3 - PRIORIDADES DE USO DEFINIDAS NA REDE-BASE.....	15
FIGURA 4.4 - PRIORIDADES DE USO NA REDE CONSOLIDADA.	16
FIGURA 4.5 - MODELAGEM DO SISTEMA COREMAS-MÃE D'ÁGUA.	17

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - RELAÇÃO DE CENÁRIOS SIMULADOS.	11
TABELA 4.1 - DADOS GLOBAIS DAS REDES DE FLUXO.	12
TABELA 4.2 - ALOCAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE DEMANDA MÓVEL.	22

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 - OS MÓDULOS DE CÁLCULO DO ACQUANET E SUAS APLICAÇÕES.....	6
QUADRO 3.1 - VETOR EVAPORAÇÃO NO CONTEXTO DA MUDANÇA DO CLIMA.....	9

1. Contextualizando

No contexto da Análise Custo-Benefício (ACB) objetivo deste estudo, a caracterização do risco físico, produto da primeira etapa, se concretiza a partir das configurações de distribuição e disponibilidade de água na bacia. Neste momento, tendo-se consolidado os cenários climáticos, que representam a disponibilidade, e os cenários socioeconômicos, por sua vez, a distribuição, faz-se necessário o entendimento de como se relacionam tais fatores, resultando nos padrões de alocação hídrica e eventuais déficits associados.

Em um sistema complexo como uma bacia hidrográfica, onde vazões afluentes e demandas por água interagem com aspectos hidroclimáticos de maneira dinâmica, a alocação hídrica dos recursos disponíveis, considerando elementos concorrentes, é feita a partir de um software de suporte à decisão. A rede de fluxo consolidada no contexto da ACB foi concebida a partir da rede desenvolvida pela ANA (em andamento) como parte de um projeto pretende analisar, entre outras coisas, as condições de balanço hídrico da região. Tal rede utilizada como base forneceu grande parte das informações adotadas, funcionando como importante banco de dados e direcionando os principais argumentos.

Dessa forma, a partir da rede-base o conteúdo foi reorganizado de maneira a melhor atender aos propósitos da ACB, adicionando-se novos elementos relevantes e compilando-se todas as intenções em uma rede consolidada. Nesse sentido, a estrutura desenhada no software que integra os elementos da bacia irá refletir os propósitos da simulação, de modo que o presente apêndice pretende elucidar as principais variáveis, constatações e premissas que nortearam a modelagem, promovendo sua replicabilidade e transparência.

2. O SSD AcquaNet e a rede de fluxo utilizada

Para analisar os padrões de alocação hídrica na bacia Piranhas-Açu, foi utilizado o Sistema de Suporte à Decisão LabSid AcquaNet 2013, desenvolvido no Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da USP - LabSid.

O AcquaNet é um modelo integrado para análise de sistemas complexos em recursos hídricos, com uma interface que utiliza tecnologia GIS. O programa é estruturado de forma a estreitar a comunicação entre o usuário e o computador, facilitar o entendimento e a formulação do problema, a interpretação dos resultados de análise, bem como auxiliar o processo de tomada de decisão, tornando-o mais ordenado, objetivo e transparente.

Como resultado tem-se o grau de atendimento às diversas demandas, a quantificação dos eventuais déficits e a apresentação dos valores destas variáveis em termos absolutos ao longo do tempo, ou ainda, em termos estatísticos na forma de curvas de permanência.

Quadro 2.1

Os Módulos de Cálculo do AcquaNet e suas Aplicações

O *software* AcquaNet é constituído por um módulo base, responsável pelo traçado e pela integração entre os seguintes módulos: alocação de água; qualidade da água; irrigação e geração de curvas de aversão a risco. O programa tem sido amplamente utilizado em vários estados brasileiros devido à facilidade de adaptação a uma grande variedade de problemas, propiciando a representação da rede de fluxo de forma fácil e precisa e facilitando ainda a visualização e a interação com o usuário. Em outras palavras, o AcquaNet é capaz de tratar a maioria dos problemas relacionados à alocação de água em bacias, auxiliando a gestão e a tomada de decisão.

O modelo de rede de fluxo, componente do módulo de alocação de água, fornece subsídios para gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas do sistema de recursos hídricos. Pode também ser utilizado para avaliar compensações entre usos conflitantes durante períodos de disponibilidade deficiente de água. Além de ser um instrumento de gerenciamento, o módulo de alocação também pode ser utilizado no planejamento e na análise do impacto de propostas alternativas para implantação de projetos de aproveitamento hídrico. A ferramenta é gratuita, assim como seu manual, estando disponível em <http://www.labsid.eng.br/>.

2.1 Estudos de Apoio e a Rede Consolidada

A estrutura da rede de fluxo empregada nas simulações do presente estudo foi constituída a partir de duas fontes prioritárias, especificadas a seguir.

- ▣ Estudo para Refinamento do Balanço Hídrico e Estabelecimento do Regras Operativas para 204 Reservatórios no Semiárido (ANA, em andamento); e
- ▣ Base de Mapas Ottocodificados da ANA - disponível em:
<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>

O estudo conduzido pela ANA (em andamento) consolidou diversas informações relevantes à gestão de recursos hídricos na região, produzindo uma base de dados inédita em extensão e consistência e fornecendo subsídio sólido ao seu objetivo maior, estabelecer regras operativas para 204 reservatórios do semiárido. Um dos componentes finais deste estudo consiste em avaliar as condições do balanço hídrico em cada um dos sistemas hidrográficos lá presentes. Nesse sentido, foi desenvolvida uma rede de fluxo AcquaNet específica para a Bacia do Piancó-Piranhas-Açu.

Considerando o escopo que sustentou a elaboração de tal rede, e conseqüentemente a abrangência de seus componentes, optou-se por, a partir dos dados nela compilados, reorganizar a disposição dos reservatórios e demandas hídricas de maneira a melhor atender aos objetivos da Análise Custo-Benefício proposta. Dessa forma o arquivo AcquaNet disponibilizado pela ANA (em andamento) foi instrumentalizado como rede-base para a estruturação da rede consolidada, empregada especificamente para os propósitos de simulação do presente projeto. Por outro lado, a partir da base de mapas ottocodificados disponibilizada pela ANA foram obtidos os dados referentes à topologia do sistema.

3. Descrição e Levantamento das Variáveis de Interesse

O AcquaNet faz a alocação da água para diversos pontos da bacia procurando atender as demandas de cada ponto de acordo com prioridades previamente estabelecidas. As principais informações necessárias à modelagem são:

- ▣ Topologia do sistema;
- ▣ Séries de vazões médias mensais naturais em pontos de interesse;
- ▣ Caracterização dos componentes do sistema (reservatórios, canais, obras de condução de água, estações de bombeamento, etc.); e
- ▣ Prioridades estabelecidas pelo usuário para as demandas e os volumes dos reservatórios.

3.1 Dados de Entrada

Os dados empregados na modelagem, adquiridos por meio de relatórios e anexos digitais, ou ainda adotados a partir da rede-base (ANA, em andamento), para cada um dos reservatórios estratégicos e trechos componentes da bacia de interesse, incluem:

- ▣ Vetores de evaporação;
- ▣ Volumes máximos e mínimos operacionais;
- ▣ Curva cota x área x volume; e
- ▣ Perdas nos canais.

Vale ressaltar que as prioridades de uso de água estipuladas na rede-base influenciaram a configuração final aqui proposta, de forma que, em função da necessidade de eventuais acréscimos, os valores nela adotados orientaram a definição dos níveis de priorização.

Quadro 3.1

Vetor Evaporação no Contexto da Mudança do Clima

No semiárido brasileiro, além das precipitações serem escassas e obedecem um regime peculiar, as elevadas temperaturas representam um significativo fator agravante sobre a disponibilidade hídrica da região. Nesse sentido, os cenários de clima simulados foram compostos a partir de séries de vazões, de forma que a influência exercida pelo componente da evaporação natural, e sua possível variabilidade em função da mudança do clima, fosse contemplada satisfatoriamente por meio das vazões afluentes futuras. Por outro lado, em uma bacia que se caracteriza como um sistema de reservatórios, sabe-se também que os volumes armazenados estarão sujeitos a elevadas taxas de evaporação superficial em função da exposição do espelho d'água, processo que tenderia a se intensificar conforme o aumento da insolação incidente.

O AcquaNet considera tais interações por meio da adição de um vetor de evaporação característico, no entanto o modelo permite apenas variar a evaporação sazonalmente entre os 12 meses do ano, mas não entre um ano e outro, ou seja, não é possível simular o aumento progressivo dessa variável ao longo do tempo, fenômeno provável em decorrência das alterações climáticas globais. Dessa forma, optou-se por adotar o valor histórico do vetor de evaporação consolidado pela ANA (em andamento), uma vez que para considerar eventuais transformações, estas teriam que ser representadas de maneira estática, desde o começo da simulação, enviesando consideravelmente os resultados.

Em relação à topologia do sistema, a partir da base de mapas ottocodificados foram adicionados:

- ▣ Massas d'água (Espelhos d'água); e
- ▣ Base hidrográfica ottocodificada do Atlântico Nordeste Oriental.

A partir desta base geográfica selecionou-se os elementos contidos na área de interesse, agregando-se as ottobacias de maneira a representar a bacia afluente a cada reservatório. Dessa forma, os reservatórios simulados foram posicionados de acordo com o mapa de massas d'água, sendo os trechos relevantes para a simulação construídos a partir dos ottotrechos.

Um dos aditivos proporcionados pela busca de uma configuração própria foi a possibilidade de analisar os dados por meio de uma interface georreferenciada.

Reservatórios de Montante

Reservatórios de montante recebem os primeiros fluxos de água do período chuvoso, que irão enchê-los até o limite de suas capacidades.

A simulação conduzida contempla apenas os reservatórios identificados como estratégicos da bacia, de forma que reservatórios de menor porte, caracterizados por acumulação inferior a 10hm³ e

regime de reservação intra-anual, não são representados em suas peculiaridades. Apesar disso, é necessário considerar a influência desses sistemas sobre o balanço hídrico de reservatórios de maior porte localizados à jusante.

Dessa forma, nos casos onde haviam outros reservatórios a montante, tal área foi destacada, indicando uma região que não afluí diretamente ao reservatório de maior porte, e consideradas como reservatórios virtuais, de acordo com a metodologia proposta pela ANA (em andamento). Dos 51 reservatórios modelados, 30 possuem reservatórios de montante, de maneira que, para a divisão das vazões naturais nessas áreas, adotou-se ainda, a partir da rede base, os seguintes parâmetros:

- ▣ Volumes dos reservatórios virtuais;
- ▣ Demandas para esvaziamento dos reservatórios virtuais; e
- ▣ Proporção da divisão das vazões naturais.

3.2 Cenários Futuros Simulados

A oferta hídrica futura da bacia é dada pelos cenários climáticos anteriormente elaborados e especificados no documento intitulado *Apêndice Técnico - Composição de Cenários Climáticos Consensuais: Séries de Vazões Futuras*. Foram considerados quatro cenários, cada um representando uma configuração de vazão futura distinta, denominados:

- ▣ Histórico: conjuntura futura que não considera a ação da mudança do clima;
- ▣ Árido;
- ▣ Extremos; e
- ▣ Moderado.

Da mesma forma, o processo de projeção das demandas hídricas futuras de cada setor usuário presente na bacia, bem como os resultados que serviram de insumo às simulações de alocação de água, estão detalhados no documento intitulado *Apêndice Técnico - Demandas Futuras*. Tais demandas se traduzem através de três cenários socioeconômicos denominados:

- ▣ Tendencial;

- ▣ Acelerado; e
- ▣ Estagnado.

À vista disto, a combinação entre cenários climáticos e socioeconômicos resultou em um total de 12 simulações, conforme mostra **Tabela 2.1**. Foram consideradas ainda mais 4 situações representando somente o balanço hídrico das vazões naturais e evaporações de forma a simular os reservatórios caso não houvessem demandas, estabelecendo critérios para análise de sensibilidade dos resultados.

Tabela 3.1
Relação de Cenários Simulados

Cenários Socioeconômicos de Demanda de Água		Cenários Climáticos de Oferta de Água			
		Histórico	Árido	Extremos	Moderado
Zero (Cenário sem demandas)		Cen.Z-H	Cen.Z-A	Cen.Z-E	Cen.Z-M
Demandas futuras	Tendencial	Cen.T-H	Cen.T-A	Cen.T-E	Cen.T-M
	Acelerado	Cen.A-H	Cen.A-A	Cen.A-E	Cen.A-M
	Estagnado	Cen.E-H	Cen.E-A	Cen.E-E	Cen.E-M

4. Consolidando a Rede de Fluxo AcquaNet

A **Tabela 4.1** apresenta em caráter comparativo os dados globais agregados da rede elaborada pela ANA (em andamento), aqui utilizada como base, e a rede consolidado no contexto da Análise Custo-Benefício proposta pelo presente estudo.

Tabela 4.1
Dados Globais das Redes de Fluxo

Elemento	Rede-Base (ANA, em andamento)	Rede Consolidada
Total de Nós	617	549
Reservatórios	80	81
Demandas	311	388
Passagens	226	80
Links	619	550

Fonte: Elaboração própria.

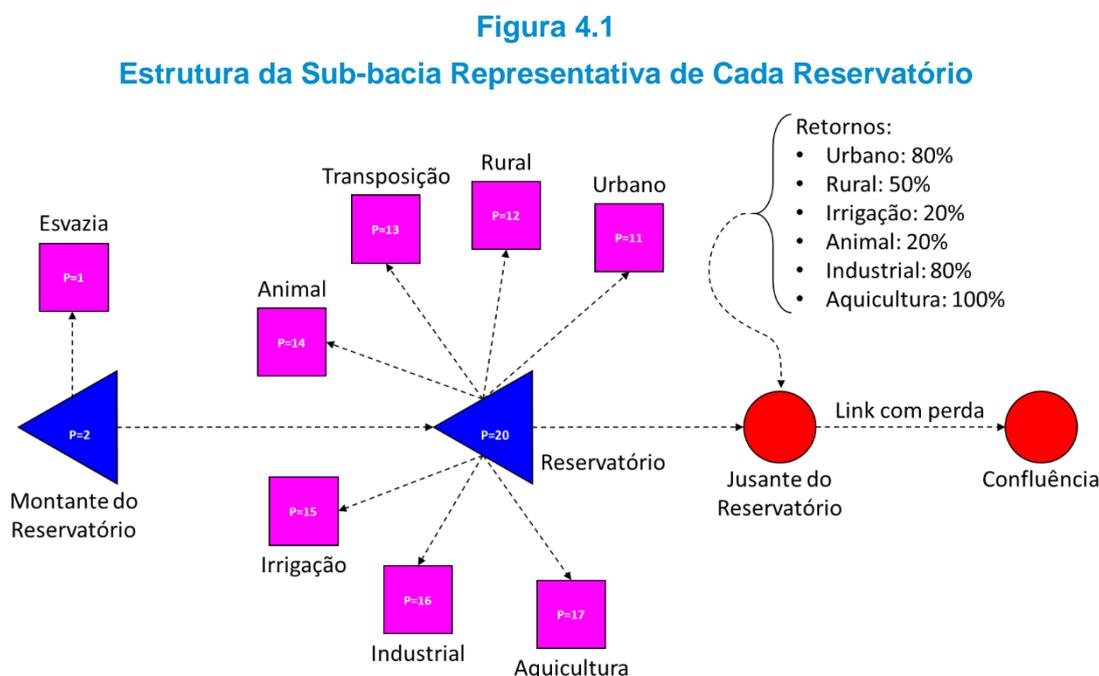
4.1 Detalhamento da Configuração Adotada

As simulações foram realizadas com intervalo de cálculo mensal, iniciando em janeiro de 2016 com duração de 50 anos. Tanto os dados de entrada quanto os resultados de déficit estão expressos em m³/s, sendo que a precisão fornecida pelo software é de no máximo três casas decimais. Em razão da dimensão reduzida de muitos reservatórios, e da conseqüente baixa vazão que por eles aflui, reconhece-se que alguns valores foram arredondados durante a modelagem, assimilando eventuais pequenas discordâncias inerentes ao processo de cálculo.

Principais Elementos da Rede

A configuração da rede final consolidada segue basicamente o mesmo padrão para cada uma das sub-bacias, representadas, por sua vez, pelos reservatórios. Nos casos em que, em decorrência da ação dos reservatórios de montante, houve a necessidade de divisão do aporte de vazões naturais, representou-se, como apresentado anteriormente, um reservatório real e outro virtual, ligando-se uma demanda de esvaziamento a esse reservatório virtual. Por outro lado, no

reservatório real foram ligadas sete demandas, cada uma representando o consumo de água de um setor usuário específico. A **Figura 4.1** apresenta um esquema desse padrão.



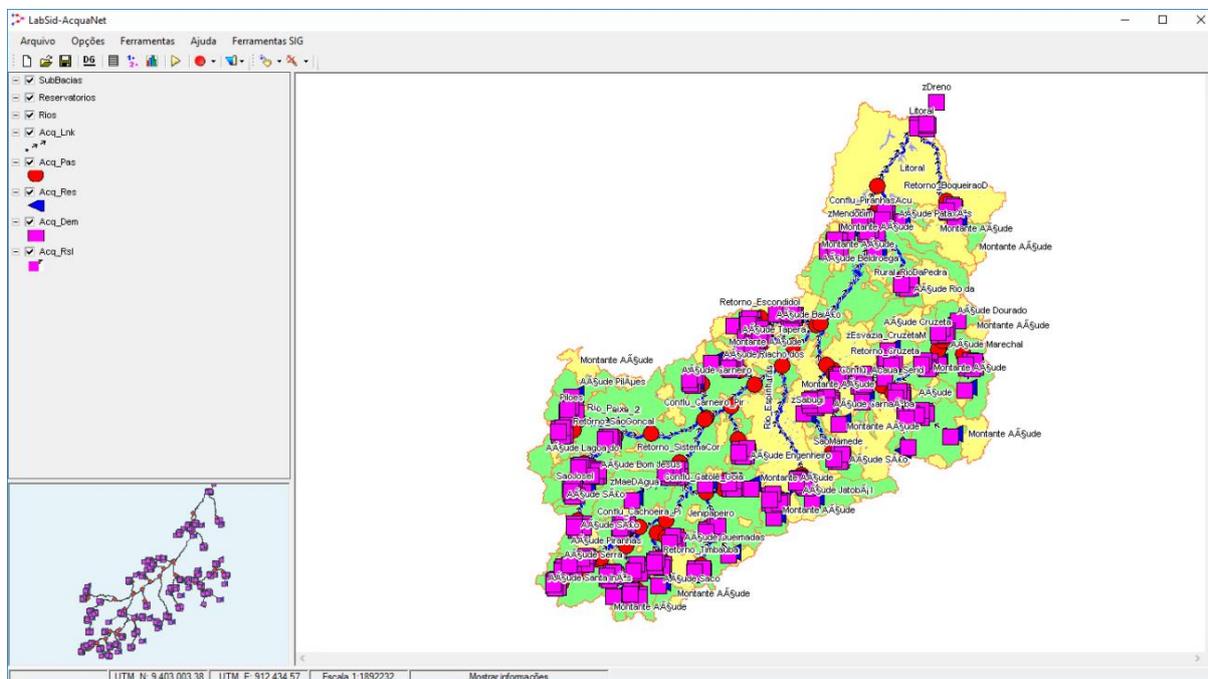
A estrutura apresentada acima, representativa de cada reservatório, mostra que, em anos úmidos, quando o esvaziamento é menor do que a vazão natural, as águas vertem do reservatório virtual e seguem para o reservatório real. Da mesma forma, as águas que vertem do reservatório real seguem para um nó a jusante, o qual também recebe as vazões de retorno específicas de cada demanda. Tais retornos seguem as proporções características de seu respectivo uso, que para os fins da simulação aqui proposta foram adotadas de acordo com os valores discriminados abaixo.

- ▣ Abastecimento Urbano: 80%;
- ▣ Abastecimento Rural: 50%;
- ▣ Irrigação: 20%;
- ▣ Dessedentação Animal: 20%;
- ▣ Industrial: 80%; e
- ▣ Aquicultura: 100%.

Ressalta-se que no link que liga o nó à jusante do reservatório real ao próximo elemento da rede é aplicado um coeficiente de perda.

Sendo a Aquicultura um uso não-consultivo, e posto que o software empregado não simula esse tipo de alocação em particular, foram necessárias algumas considerações a respeito desta atividade de forma a incluí-la nas modelagens, estando estas detalhadas mais adiante. A **Figura 4.2** ilustra o aspecto final da rede consolidada para o presente estudo.

Figura 4.2
Rede AcquaNet Consolidada



Fonte: Elaboração própria.

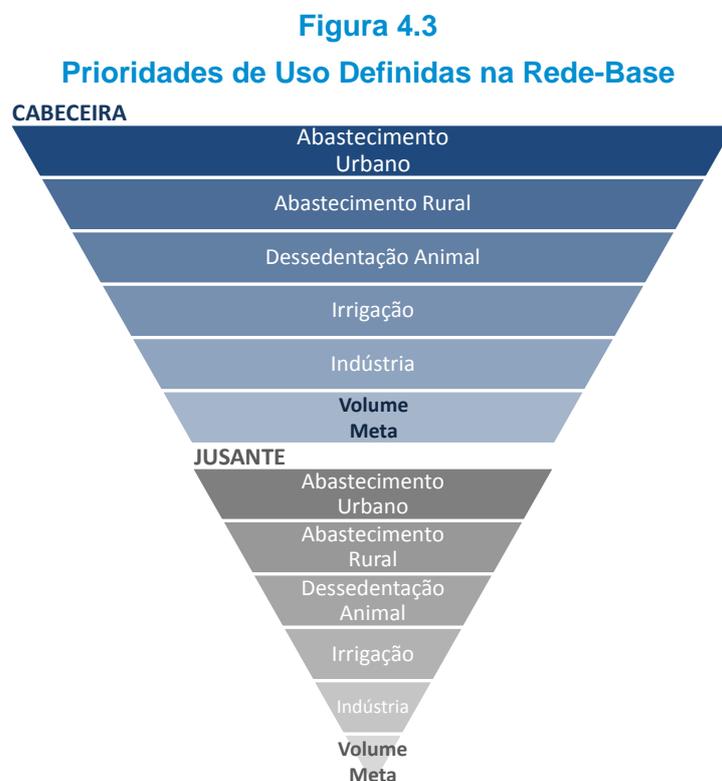
Prioridades de Uso e Alocação de Água

A operação dos reservatórios no AcquaNet considera, além das demandas dos setores usuários, mais um componente denominado Volume Meta, que representa a fração do volume máximo a ser reservado, respeitando uma prioridade previamente estabelecida em relação ao atendimento dos demais usos. Observa-se que o Volume Meta dos reservatórios foi fixado em 100% (completamente cheio).

Apesar do Volume meta ser de 100%, em função das prioridades estabelecidas, a água só será armazenada após todas as outras demandas do reservatório serem atendidas.

De maneira geral, as prioridades de uso e alocação da água adotadas na rede consolidada seguiram as mesmas diretrizes estabelecidas pela ANA (em andamento) na rede-base. Dessa forma, na presente simulação as demandas de esvaziamento dos reservatórios virtuais são as mais prioritárias, ou seja, prioridade igual a 1, sendo na sequência priorizado o volume meta do reservatório virtual, que, portanto, tem prioridade 2. As outras prioridades foram distribuídas a partir dos reservatórios de cabeceira seguindo para jusante, como mostra a **Figura 4.3**.

A preferência pelo armazenamento da água (volume meta) no reservatório de cabeceira, em detrimento do atendimento das demandas do reservatório de jusante reflete a dinâmica hídrica local. A bacia do Piancó-Piranhas-Açu, em contraposição a um conjunto de sub-bacias interligadas, se comporta como um sistema de reservatórios conectados, no qual aqueles de menor porte, sem capacidade de regularização e que esvaziam completamente no período seco, na prática, estão isolados. Portanto, as prioridades estabelecidas funcionam de maneira a traduzir para a simulação a real atividade observada entre os reservatórios, permitindo, ao mesmo tempo, compor uma só rede de fluxo.

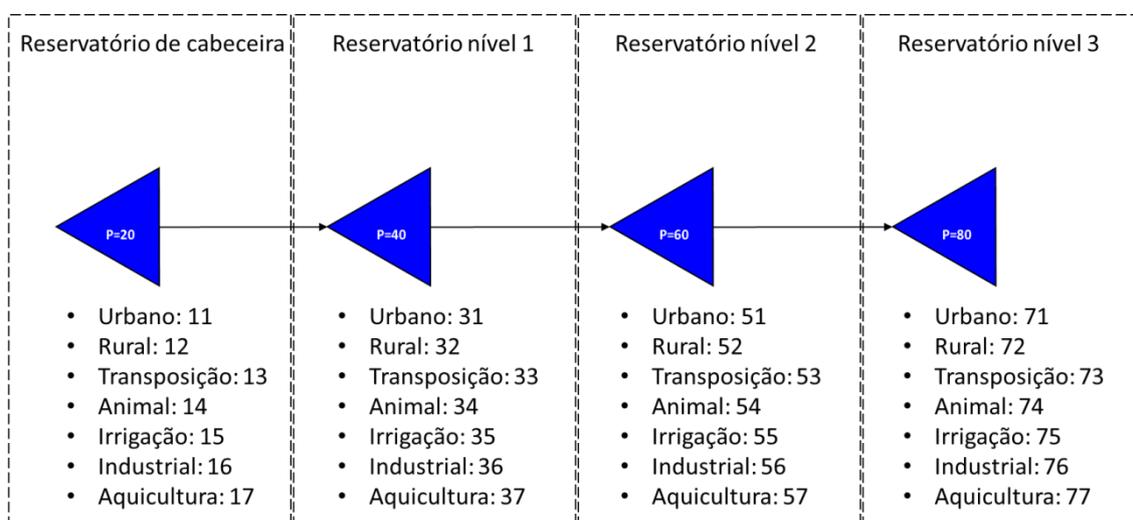


Fonte: Elaboração própria, baseada em ANA (em andamento).

O escopo que conduziu à elaboração da rede aqui utilizada como base (ANA, em andamento) não abrangeu todos os usos agora relevantes no contexto da Análise Custo-Benefício, de forma que foi necessário incluir as demandas de transposição e aquicultura. Isto posto, dentro de um mesmo nível da rede consolidada, o uso mais prioritário é abastecimento urbano, seguido do rural, transposição, dessedentação animal, irrigação, industrial, aquicultura e, por último, encher o reservatório. Observa-se que a alta prioridade alocada à transposição está relacionada ao reconhecimento de que tais doações de água se direcionam (primordialmente) ao abastecimento humano, mesmo que externo a bacia de interesse.

Na rede simulada há no máximo quatro níveis de reservatórios dispostos em série, sendo que o reservatório de cabeceira e suas respectivas demandas tem maior prioridade de que o reservatório que se encontra a jusante, e assim por diante, conforme a **Figura 4.4**.

Figura 4.4
Prioridades de Uso na Rede Consolidada



Fonte: Elaboração própria.

4.2 Premissas Específicas

Volume Inicial dos Reservatórios

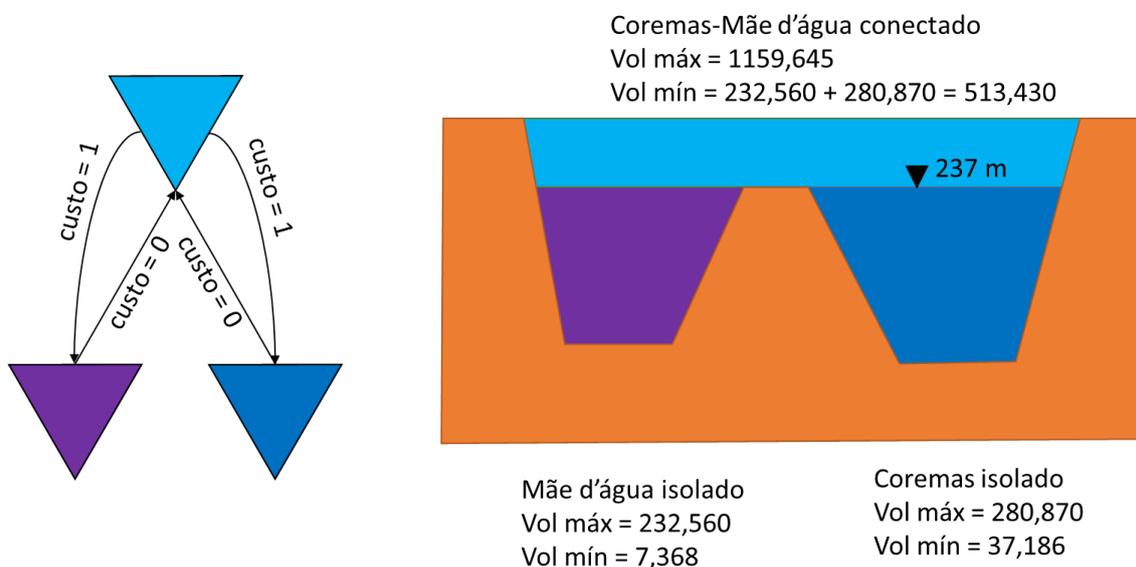
Para a simulação da rede, todos os reservatórios foram iniciados com volume armazenado igual a metade do volume operacional. Embora seja uma premissa arbitrada, considerou-se este como o início mais adequado, uma vez que, alternativamente, os extremos poderiam provocar distorções. Adotar inicialmente o volume dos reservatórios como zero conduziria a déficits excessivamente grandes logo no início do período, prejudicando a análise em relação aos efeitos da mudança do clima. Por outro lado, partindo-se da capacidade limite, estaria sendo representada uma situação irreal, dado o histórico recente da região.

Sistema Interligado Coremas-Mãe d'água

Para representar o Sistema Coremas-Mãe d'Água foi necessário um conjunto de três reservatórios, o primeiro representando o reservatório Mãe d'Água isolado, o segundo o reservatório de Coremas isolado e, por último, um terceiro que representa o volume acima da cota de 237 m, quando se conectam os dois reservatórios isolados, como mostra a **Figura 4.5**.

Figura 4.5

Modelagem do Sistema Coremas-Mãe d'água



Fonte: Elaboração própria.

Estabelece-se que os reservatórios isolados sejam mais prioritários que o reservatório conectado, de forma que deve haver um link de ida com custo zero e outro de volta com custo 1. As vazões naturais e demandas por água estão ligadas aos respectivos reservatórios isolados, no entanto, o vertimento e o nó a jusante do sistema partem do reservatório conectado. Dessa forma só haverá

armazenamento de água no reservatório conectado quando ambos isolados estiverem cheios. Para considerar o efeito da evaporação sobre o sistema, é subtraída da curva cota-área do reservatório conectado a área dos reservatórios isolados cheios.

Projeto de Integração do São Francisco (PISF)

A obra de transposição do Rio São Francisco, que pretende aumentar a segurança hídrica entre os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, beneficiando cerca de 12 milhões de pessoas, foi projetada para fornecer 1,4% da vazão da barragem de Sobradinho, destinando 26,4 m³/s ao semiárido. Tal vazão se divide em dois eixos, norte e sul, os quais irão trabalhar em regime contínuo, recebendo, respectivamente, 16,4 m³/s e 10 m³/s. Apesar da vazão contínua estipulada, os eixos foram construídos para capacidades máximas de 99 m³/s no eixo norte e 28 m³/s no sul.

Para a Bacia do Piancó-Piranhas-Açu estão previstas duas entradas de água a partir do eixo norte, uma no açude Engenheiro Ávidos e a outra no açude Lagoa do Arroz, sendo que 1 m³/s será disponibilizado para a Paraíba e 1,7 m³/s para o Rio Grande do Norte, totalizando 2,7 m³/s. No contexto da simulação, a inclusão do aporte de água previsto a partir da integração do São Francisco, considerou os seguintes aspectos prioritários:

- ▣ PISF no contexto da Análise Custo-Benefício: Considerando que uma obra de transposição de bacia se caracteriza como uma medida de adaptação, é necessário o alinhamento em torno do entendimento de como ponderar suas possíveis contribuições à dinâmica hídrica local;
- ▣ Ano da entrada de água: Iniciadas em 2007, com término previsto para 2012, as obras da transposição encontram-se, em 2016, 85% concluídas. Atualmente estima-se que a entrega deva ocorrer no primeiro semestre de 2017; e
- ▣ Perdas nos canais e trechos de jusante: É reconhecido que grande parte da água canalizada irá se perder no caminho entre o São Francisco e o semiárido setentrional devido à evaporação natural e eventuais fissuras pelo trajeto. Além disso, observa-se que os trechos a jusante dos reservatórios por onde essa água aflui impõem perdas significativas a sua passagem.

Com base nestas reflexões, deliberou-se que a transposição do Rio São Francisco seria abordada na simulação a partir das seguintes premissas:

- ▣ Foi entendido que as contribuições do PISF deveriam fazer parte do cenário base. Isso quer dizer que, considerando a vazão mínima prevista, tal aporte de água foi percebido como uma conjuntura dada, a partir da qual serão propostas medidas de adaptação. Dessa forma, partindo-se da configuração atual, novas proposições de vazões dentro da capacidade máxima do sistema poderão ser analisadas como possíveis medidas.
- ▣ Em função do andamento das obras optou-se por considerar o aporte imediato da água. A vazão prevista é contabilizada desde o início do horizonte de projeto, ou seja, janeiro de 2016.
- ▣ Garantia de lançamento das vazões prometidas sem considerar eventuais perdas de montante, ou seja, 1 m³/s no reservatório Engenheiros Ávidos e 1,7 m³/s no nó de passagem que representa a divisa dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

Simulação de uso não-consuntivo: Aquicultura

A atividade de Aquicultura corresponde a 45% da água demandada na bacia, estando principalmente concentrada na UPH Bacias Difusas do Baixo Piranhas, que, por sua vez, responde por 92,5% das vazões direcionadas a este setor (ANA, 2016). Caracterizada como um uso não-consuntivo, praticamente toda a água utilizada na atividade retorna à fonte, de maneira que sua produção está associada principalmente à manutenção dos níveis dos tanques.

O AcquaNet não simula especificamente demandas de usos não-consultivos, uma vez que um consumo de água que tivesse vazão de retorno no mesmo ponto do qual foi retirado representaria uma espécie de reúso. Por outro lado, é aceitável alocar tal demanda, com última prioridade, a um reservatório e condicioná-la a um retorno de 100% da vazão retirada, posicionado, por sua vez, em um ponto imediatamente a jusante.

Assim, é possível que a modelagem forneça os dados de déficits associados ao setor, reconhecendo também as condições de disponibilidade e distribuição de água e representando satisfatoriamente os padrões da atividade. Mesmo sendo considerado um uso não-consuntivo,

reconhece-se que a atividade acaba por consumir uma parcela da água que demanda para compensar eventuais perdas. A dinâmica de utilização hídrica do setor é detalhada no Apêndice Técnico – Estimação de perdas econômicas.

Especificamente na bacia do Piancó-Piranhas-Açu, a UPH que mais concentra esta atividade se localiza na sub-bacia litorânea, região a jusante dos últimos reservatórios, estando a

Apesar de inserida na simulação, a atividade de Aquicultura, em função da prioridade estipulada e do retorno fixado, não prejudica ou compete pelo uso da água com as demais demandas.

montante apenas do oceano. Nesse sentido, reforça-se que o consumo associado à Aquicultura não tem influência significativa no balanço hídrico das regiões mais críticas.

Diferenças de alocação entre anos secos e úmidos

O levantamento das demandas hídricas realizado pela ANA (em andamento) revelou a dinâmica particular que permeia a busca por água no semiárido. Foi identificado que as demandas de alguns setores, no caso, abastecimento urbano, abastecimento rural e dessedentação animal, se comportam de maneira intermitente, em função da disponibilidade hídrica do período, quando associadas a reservatórios de menor porte. Isso significa que, quando tais reservatórios se encontram cheios a água armazenada supri esses setores, por outro lado, uma vez vazios essas demandas são realocadas em reservatórios de maior porte, caracterizando, portanto, um regime de demanda móvel.

Essa situação específica ocorre em decorrência das características hidroclimáticas da região, que em épocas úmidas apresenta precipitações intensas o suficiente para o sobrecarregar os reservatórios, mas em contraposição, nos momentos secos leva o armazenamento de água a níveis críticos. A alocação inconstante das demandas no contexto de uma simulação em tempo contínuo representa um componente complexo. Uma vez que a distribuição e disponibilidade de água se alteram pontualmente de acordo com o período e, os níveis dos reservatórios entre um ano e outro evoluem de maneira interdependente e iterativa, não é praticável incluir tais dinâmicas na modelagem.

No entanto, foi observado que dentre os municípios dependentes de reservatórios intermitentes de menor porte grande parte estava inserida na zona de influência direta de reservatórios de maior porte, por sua vez, com capacidade de perenização. Dessa forma, foi assumido que caso as demandas móveis de tais municípios, bem como suas respectivas ofertas, fossem realocadas permanentemente nos reservatórios regularizados, o balanço hídrico global de água na bacia, no contexto da simulação, não seria prejudicado, e que, portanto, não se faria necessária a distinção entre anos secos e úmidos.

A **Tabela 4.2** traz a relação entre os municípios identificados como detentores de demandas móveis, o respectivo reservatório de menor porte do qual dependem diretamente e o reservatório de maior porte ao qual foram associados para os fins desta modelagem.

Tabela 4.2
Alocação dos Municípios de Demanda Móvel

Município	Reservatório menor porte	Reservatório de maior porte onde é alocada a oferta e a demanda
Aguiar - PB	Barragem Frutuosa II	Res. Mãe D'água
Baraúna - PB	Sede fora da bacia	Fora da Bacia
Cachoeira dos Índios - PB	Açude Cachoeira da Vaca	Res. Lagoa do Arroz
Cacimbas - PB	Açude Jeremias (Desterro)	Fora da Bacia
Cubati - PB	Açude Boqueirão (Epitácio Pessoa)	Res. Boqueirão de Parelhas (Ministro João Alves)
Emas - PB	Açude Campo Grande	Res. Coremas
Igaracy - PB	Açude Riacho dos Cochos	Res. Mãe D'água
Imaculada - PB	Açude Albino	Res. Coremas
Joca Claudino - PB	Açude Capivara	Res. Pilões
Juazeirinho - PB	Açude Boqueirão (Epitácio Pessoa)	Res. Boqueirão de Parelhas (Ministro João Alves)
Junco do Seridó - PB	Açude do Estado	Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves + Captação subterrânea
Maturéia - PB	Riacho das Moças (Teixeira)	Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves
Monte Horebe - PB	Açude Público Municipal	Res. São José I
Pedra Branca - PB	Açude Minador	Reservatório Coremas
Pedra Lavrada - PB	Açude Boqueirão (Epitácio Pessoa)	Res. Boqueirão de Parelhas (Ministro João Alves)
Princesa Isabel - PB	Açude Jatobá II	Res. Saco
Santa Cruz - PB	Açude Caldeirão	Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves

Município	Reservatório menor porte	difuso de	Reservatório de maior porte onde é alocada a oferta e a demanda
São Domingos - PB	Tem dois: São domingos de pombal e São domingos do cariri		Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves
São Francisco - PB	Açude São Francisco		Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves
São João do Rio do Peixe - PB	Açude Chupadouro I, 1 Poço São João do Rio do Peixe 2		Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves (50%) e poços subterrâneos
São José da Lagoa Tapada - PB	Açude Genipapeiro		Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves
São José de Caiana - PB	Açude Pimenta		Res. Mãe D'água
São Vicente do Seridó - PB	Não consta entre os municípios		Res. Boqueirão de Parelhas (Ministro João Alves)
Serra Grande - PB	Açude Cafundó		Res. Mãe D'água
Taperoá - PB	Açude Manoel Marcionilo (Taperoá II)		Fora da Bacia
Tavares - PB	Açude Novo II		Res. Coremas
Teixeira - PB	Açude São Francisco, Riacho das Moças, Barragem Bastiana		Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves (67%) e Res. Farinha (33%)
Triunfo - PB	Açude Gamelas		Res. Pilões
Uiraúna - PB	Açude Arrojado		Res. Pilões
Carnaúba dos Dantas - RN	Açude Monte Alegre		Res. Passagem das Traíras
Cerro Corá - RN	Açude Pinga		Fora da Bacia
Equador - RN	Açude Mamão		Res. Caldeirão de Parelhas
Ipueira - RN	Açude Martelo/PB		Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves
Jucurutu - RN	Rio Açú		Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves
Serra Negra do Norte - RN	Barragem Dinamarca		Res. Eng. Armando Ribeiro Gonçalves
Venha-Ver - RN	Açude Público de Venha Ver		Fora da Bacia

Fonte: Elaboração própria.

4.3 Alocação Reservatório-Município

Como apresentado, a principal unidade geográfica de análise, tanto para a concepção das demandas futuras quanto para mensuração dos déficits, perdas e, mais adiante, na Análise de Custo-Benefício de Medidas Adaptativas, é o município, considerando assim sua sede urbana, sua população rural e todas as atividades econômicas relevantes.

No entanto, a realidade hídrica da Bacia do PPA, as particularidades da região semiárida e, conseqüentemente, as demandas específicas de cada setor usuário, se revelam por meio de açudes estratégicos e respectivos trechos perenizados. É justamente esta rede de reservatórios que mantém fluindo as possibilidades de se viver e produzir na região, sendo que os mais diversos usos da água na bacia dependem especificamente desta dinâmica de integração hidrológica.

Da mesma forma que o Plano de Bacia (ANA, 2016) e o estudo da ANA (em andamento), as demandas associadas a cada reservatório foram alocadas de acordo com os respectivos municípios deles dependentes. Considerou-se, nessa mecânica, a distribuição mais apropriada para cada um dos setores usuários, descrita a seguir.

- ▣ Abastecimento Humano, Urbano e Rural: utilizou-se da alocação entre municípios e reservatórios do estudo da ANA (em andamento), pois este criou uma rede integrada entre os reservatórios estratégicos. Compatibilizou-se ainda, com os dados do Atlas Brasil de Abastecimento (ANA, em andamento), aqueles municípios que captam toda ou parte de seus volumes de abastecimento via águas subterrâneas. Alguns municípios detêm frações diversas de suas áreas na bacia, mas não dependem dela para abastecimento, sendo, nesses casos, desconsiderados.
- ▣ Para a alocação de agricultura irrigada, utilizou-se de dois dados complementares: manteve-se a alocação da ANA (em andamento) para as demandas de irrigação concentrada, pois foram advindas dos pivôs de irrigação; e alocou-se as demandas difusas de acordo com a distribuição de área de cada município nas áreas de contribuição de cada reservatório.
- ▣ A alocação das demandas de dessedentação animal seguiram a mesma lógica utilizada no Plano de Bacias (ANA, 2016), alocando-se as demandas de acordo com a distribuição de área de cada município nas áreas de contribuição de cada reservatório.
- ▣ Para a indústria, uma vez que esta geralmente se encontra em áreas urbanas ou peri-urbanas, utilizou-se a mesma alocação do abastecimento de água urbana. Tal decisão foi tomada após diante da impossibilidade em se localizar cada indústria de forma georreferenciada.

- ▣ A alocação das atividades de aquicultura, da mesma forma, foi realizada de acordo com a distribuição de área de cada município nas áreas de contribuição de cada reservatório, também considerando a falta de um parâmetro espacial mais preciso localização exata dessas atividades. A maior parte delas, embora não se saiba com exatidão, pertencem às Bacias Difusas do litoral, no trecho perenizado a jusante do Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves.

- ▣ Por fim, as transposições foram alocadas seguindo a localização das adutoras e seus pontos de captação.

5. Resultados

As simulações foram conduzidas para os cenários apresentados e interpretadas a partir dos resultados obtidos. O software forneceu, de acordo com as configurações futuras, os possíveis déficits hídricos em cada reservatório e para cada um dos setores usuários. Tais valores caracterizam por fim o Risco Físico.

Os resultados da modelagem foram interpretados, sendo apresentados em formato de gráficos e imagens nos apêndices subsequentes. Ressalta-se que um arquivo no formato de anexo digital será disponibilizado contendo a rede AcquaNet consolidada e as respectivas simulações para cada um dos cenários considerados.

6. Referências Bibliográficas

ANA. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu.** Agência Nacional das Águas - ANA. Brasília, p. 345. 2016.

ANA. **Estudo para Refinamento do Balanço Hídrico e Estabelecimento de Regras Operativas para 204 Reservatórios no Semiárido.** Agência Nacional de Águas - ANA/; ANA ENGENHARIA S.A. Brasília/São Paulo. em andamento.