

O EFEITO DE REGULARIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E O PLANEJAMENTO INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Oduvaldo Barroso da Silva¹ e Rafael Mora de Mello²

Resumo - Sendo o Setor Elétrico um dos principais usuários dos recursos hídricos nacionais, torna-se necessário caracterizar de forma adequada sua interferência nos recursos naturalmente disponíveis, destacando-se a alteração dos regimes fluviais em virtude do efeito de regularização de vazões de seus reservatórios. Tal efeito é fundamental para a obtenção dos benefícios energéticos produzidos pelos reservatórios existentes, assim como para a viabilização e hierarquização dos aproveitamentos em estudo para licitação futura.

I - INTRODUÇÃO

A Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, constitui um marco na gestão dos recursos hídricos em nosso país, ao estabelecer as diretrizes para a exploração ordenada desses recursos, levando em conta sua disponibilidade, seus usuários, seus usos e sua preservação.

Fundamentada nos conceitos de que a água é um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico, com prioridade de uso para o consumo humano e a dessedentação de animais, a lei determina que a gestão dos recursos hídricos seja realizada por bacias hidrográficas, seja descentralizada e proporcione o uso múltiplo das águas.

Dentre as principais medidas preconizadas e que apresentam desdobramentos de interferências nos vários setores usuários desse recurso natural, destaca-se a cobrança pelo uso da água. Tal cobrança, independente dos critérios a serem regulamentados para a sua implementação, deverá, sob todos os aspectos, caracterizar-se como oportuna, justa e coerente com a alteração quantitativa ou qualitativa provocada pelo usuário onerado.

Colocando-se o Setor Elétrico como um dos principais usuários dos recursos hídricos nacionais, haja vista a predominância hidro-energética no parque instalado e projetado de geração de energia elétrica no país, torna-se necessário caracterizar de forma adequada sua interferência nos recursos naturalmente disponíveis.

Nesse sentido, podemos de início destacar a característica de usuário não consuntivo, uma vez que, na sua quase totalidade de interferência, o Setor Elétrico não subtrai volume d'água dos corpos fluviais, a exceção dos poucos casos de aproveitamentos com derivação, onde existe uma redistribuição espacial de volume diretamente na calha fluvial, o que também não caracteriza retirada de água.

É comum a atribuição ao Setor Elétrico da condição de usuário consuntivo por conta do volume de água evaporado de seus reservatórios. Tal atribuição, embora pareça correta à primeira vista, exige uma análise um pouco mais cuidadosa e específica para cada reservatório considerado, uma vez que, não raro, tem-se observado evaporação de massa líquida inferior a evapotranspiração que existia antes da construção do reservatório, caracterizando portanto, tais casos, uma ação no sentido de diminuir a perda de água para a atmosfera.

Outro aspecto de relevância a ser considerado na caracterização do Setor Elétrico como usuário dos recursos hídricos do país diz respeito a alteração dos regimes fluviais, em virtude do efeito regularização de vazões de seus reservatórios. Tal efeito, provocado basicamente pela capacidade de acumulação e pelas regras operativas dos reservatórios, atua no sentido de redistribuir as vazões na escala temporal, atenuando assim aquelas vazões características dos períodos chuvosos e elevando as vazões características dos períodos de estiagem.

Dessa forma, e considerando esse último aspecto apontado, pretende o presente trabalho realizar uma primeira avaliação quantitativa, a partir dos dados existentes, dos efeitos de regularização provocados pelos reservatórios de geração de energia elétrica nas principais bacias hidrográficas brasileiras, objetivando estabelecer subsídios para criação de um referencial para futuras negociações

¹ Eletrobrás – Divisão de Recursos Hídricos - DPEH

Rua da Quitanda, 196 – 22º andar
CEP – 20091-090 – Rio de Janeiro – RJ – BR
oduvald@eletrobras.gov.br

² Rua da Quitanda, 196 – 22º andar
CEP – 20091-090 – Rio de Janeiro – RJ - BR

não só quanto as questões referentes ao planejamento integrado dos recursos hídricos, mas principalmente quanto a cobrança pelo uso da água.

2- METODOLOGIA

Objetivando investigar quantitativamente as eventuais melhorias na eficiência da produção hídrica de uma bacia hidrográfica através da operação dos reservatórios do Setor Elétrico, decidiu-se utilizar a simulação hidroenergética desses reservatórios, desenvolvida segundo as seguintes etapas:

2.1 - Escolha da bacia a ser estudada

A configuração do sistema elétrico considerada corresponde aos sistemas interligados Sul, Sudeste/Centro-Oeste e Norte/Nordeste, todos com comportamento nitidamente sazonal no aspecto da interligação energética. Nesses sistemas selecionaram-se as bacias dos rios Paraná e São Francisco, que apresentam regularização significativa pelo porte de alguns dos aproveitamentos implantados.

Na bacia do rio Paraná destacam-se as sub-bacias dos rios Paranaíba e Grande, onde os volumes dos reservatórios constituintes do Plano Quinzenal totalizam 44,8% e 25,7%, respectivamente, do total útil de armazenamento de toda a bacia. Da mesma maneira, na bacia do rio São Francisco destacam-se os ganhos proporcionados pelos volumes dos reservatórios de Três Marias e Sobradinho, este com 60% do volume útil total dos reservatórios da referida configuração, que se refletem nos aproveitamentos de Itaparica e Xingó, a jusante.

2.2 - Escolha do modelo matemático a ser utilizado na simulação

A complexidade do sistema hidrelétrico brasileiro exige, para a sua representação e simulação, modelos matemáticos que tenham sido desenvolvidos especificamente para tal finalidade, ou flexíveis o bastante para permitir que as particularidades do setor possam ser consideradas sem macular a funcionalidade do modelo.

Assim, para o presente trabalho, optou-se por utilizar o MSUI - Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas, de uso já consagrado nos trabalhos de planejamento da expansão da parque gerador, que simula a operação de um sistema constituído de usinas hidráulicas, térmicas e reversíveis sob diversas condições de carga e hidraulicidade, subordinadas a um conjunto de parâmetros definidores de prioridades, inerentes ao sistema e ao mercado a ser atendido.

2.3 - Aproveitamentos considerados

Objetivando a caracterização do efeito dos reservatórios do setor elétrico, que por suas características de armazenamento e de regras operativas são capazes de promover a regularização do regime fluvial, foram considerados todos os reservatórios existentes ou em estudo nas bacias em questão, em condições de serem simulados, conforme a configuração do sistema hidráulico utilizada atualmente nos estudos de planejamento da expansão realizados pelo Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos - GCPS.

As informações básicas referentes a esses aproveitamentos e que alimentaram o modelo de simulação energética são aquelas constantes no Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro - SIPOT.

Assim, além dos aproveitamentos em operação no sistema, foram considerados aqueles que compõem a alternativa de referência do Plano Quinzenal composta dos aproveitamentos apresentados na tabela a seguir, com a respectiva data de previsão de entrada em operação. Ressalta-se, entretanto, que para efeito da presente avaliação o sistema foi considerado já desenvolvido, com esses aproveitamentos em operação.

SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.
Gramado, RS, de 5 a 8 de Outubro de 1998

ANO	SUL	SE/C.OESTE	NORTE	NE
1997		Corumbá, Muniz Freire		
1998		Miranda, Serra da Mesa, P. Primavera		
1999	Salto Caxias	Canoas I, Igarapava, Canoas II, Santa Branca		
2000	Cubatão-Sul, Itá	C. Emboque, Jubinha I, II e III, Juba III e IV, São José, Rosal, Porto Estrela		
2001	D. Francisca	Manso, Funil Grande	Curuá-Una	Gatos I
2002	Ponte Pedra	Piraju, Picada, Carrapatos, Cana Brava, Santa Clara, Queimado, B. Braúna, S. Domingos, Pilar I	Tucuruí II	S. Grande
2003	Machadinho C. Novos	Baú I, Ourinhos, Irapé, F. Amaral, Bocaina, Aimorés		Sacos
2004	Garabi, Cebolão	Cap. Branco I, Simplício, Sapucaia, Anta		Itapebi
2005	Jataizinho	Funil Ribeira, C. Magalhães, Murta, Itaocara, Barretos, C. Branco II	Lajeado	
2006			S. Quebrada	
2007	F. Chapecoz. Fundão S. Jerônimo	Resplendor II, Batatal, Formoso, Peixe		Araçá P. do Cavalo
2008	Barra Grande, Curucaca, Xanxerê, Ab. Luz, Mauá, F. Alonzo	S. do Facão, Jaborandi Viradouro, Baguari I, Manhuaçu	Estreito	
2009	Telém. Borba	Mirador, Barra do Peixe	Belo Monte	
2011	Ubaúna, Ivatuva			
2012		Foz do Bezerra	Tupiratins	

Plano Quindenal (Alternativa de Referência)

A Figura 1, a seguir, apresenta a topologia dos aproveitamentos hidrelétricos considerada.

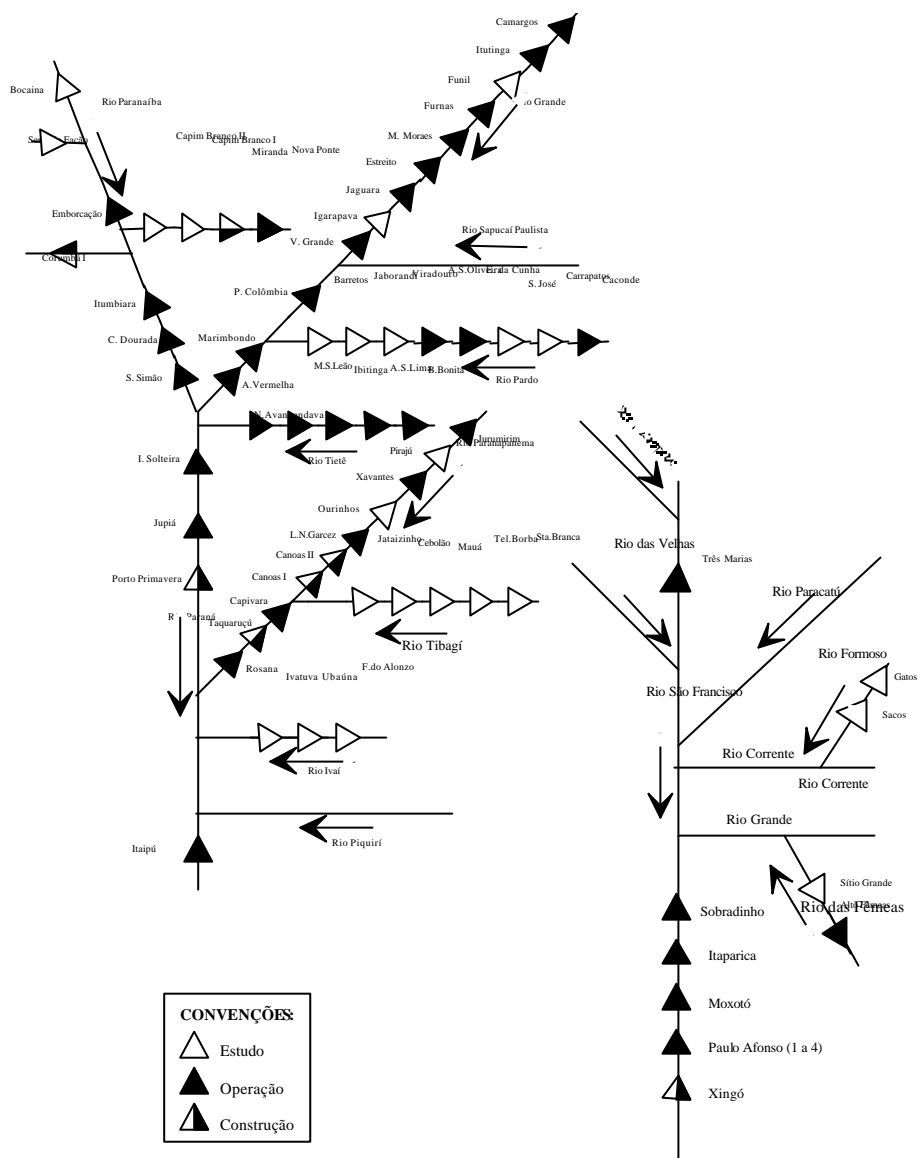


Figura 1 - DIAGRAMA TOPOLÓGICO DAS BACIAS DOS RIOS PARANÁ E SÃO FRANCISCO
Configuração do Plano Quinquenal (Alternativa de Referência)

Objetivando então acompanhar, ao longo da calha fluvial principal de cada bacia, o efeito de regularização promovido pela operação dos reservatórios de geração de energia elétrica, foram selecionados como pontos de controle os seguintes aproveitamentos, para cada bacia hidrográfica:

- Bacia do rio Paraná :São Simão, Água Vermelha, Ilha Solteira e Itaipu.
- Bacia do rio São Francisco: Xingó

3- CÁLCULO DAS SÉRIES DE VAZÕES REGULARIZADAS

A modelagem da operação do sistema de reservatórios foi realizada levando-se em conta algumas premissas utilizadas no planejamento da expansão, dentre as quais pode-se destacar:

- Convergência da carga máxima garantida de uma determinada configuração de usinas e cálculo do respectivo período crítico;
- Avaliação do comportamento de um sistema de expansão face a projeções de mercado e séries hidrológicas dadas;
- Avaliação de regras de operação das usinas térmicas pela determinação do consumo médio de combustível sob condições hidrológicas dadas;
- Avaliação do balanço de ponta e posições relativas das usinas térmicas e reversíveis;
- Avaliação do comportamento de uma usina individualizada através de seus parâmetros característicos;
- Avaliação dos balanços de empresas decorrentes da operação integrada do sistema.

Os principais dados de entrada referentes às usinas hidrelétricas integrantes da configuração simulada foram:

- Curvas de áreas e volumes do reservatório e condições limites (volume máximo, mínimo e de vertimento);
- Relação cota do nível d'água de jusante x vazão defluente
- Perda hidráulica média nas tubulações;
- Rendimento médio do conjunto turbina e gerador;
- Dados das turbinas e geradores;
- Fator de carga máximo para operação contínua;
- Dados de evaporação.

A operação mensal de cada usina do sistema é representada por seu balanço hídrico ou equação de conservação de água. O conjunto de usinas é operado de modo a atender um mercado de energia fornecido, relativo à configuração do sistema considerado, deplecionando os reservatórios quando a energia natural afluyente é inferior às necessidades do referido mercado e enchendo-os quando essa energia for superior. Os reservatórios são submetidos a diversas condições de carga e hidráulicidade, subordinadas a um conjunto de parâmetros definidores de prioridades.

Basicamente, a operação dos reservatórios é controlada pelas seguintes variáveis:

- Prioridade de enchimento e esvaziamento;
- Curvas de controle superiores e inferiores dos reservatórios:
 - esvaziamento é feito pela ordem de prioridade até as curvas de controle superiores e depois até as inferiores;
 - enchimento é feito pela ordem de prioridade de enchimento até as curvas de controle inferiores e depois até as superiores.
- Coeficientes informados para manter esvaziamento proporcional abaixo das curvas de controle inferiores durante períodos muito secos;
- Vazões mínimas defluentes;
- Capacidades máximas de turbinamento das usinas.

4 - RESULTADOS OBTIDOS

Da configuração apresentada selecionaram-se os relatórios de saída do modelo relativos às seguintes usinas:

- São Simão, no rio Paranaíba;
- Água Vermelha, no rio Grande;
- Ilha Solteira e Itaipu, no rio Paraná; e,
- Xingó, no rio São Francisco.

Nesses locais obtiveram-se então as séries de vazões afluentes, portanto regularizadas pelos reservatórios situados a montante, as quais foram comparadas com as séries de vazões naturais disponíveis no SIPOT, através da elaboração de curvas de permanência de vazões médias mensais, naturais e regularizadas, conforme está apresentado na Figura 2.

Observando-se então essas curvas, verifica-se um aumento significativo da permanência de vazões nos locais das usinas, chegando a representar em Itaipu, para uma permanência de 95%, um incremento de 1.770 m³/s, o que equivale a um aumento de 44,8% na vazão natural para a mesma permanência. Os resultados em cada local são apresentados a seguir:

SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.
Gramado, RS, de 5 a 8 de Outubro de 1998

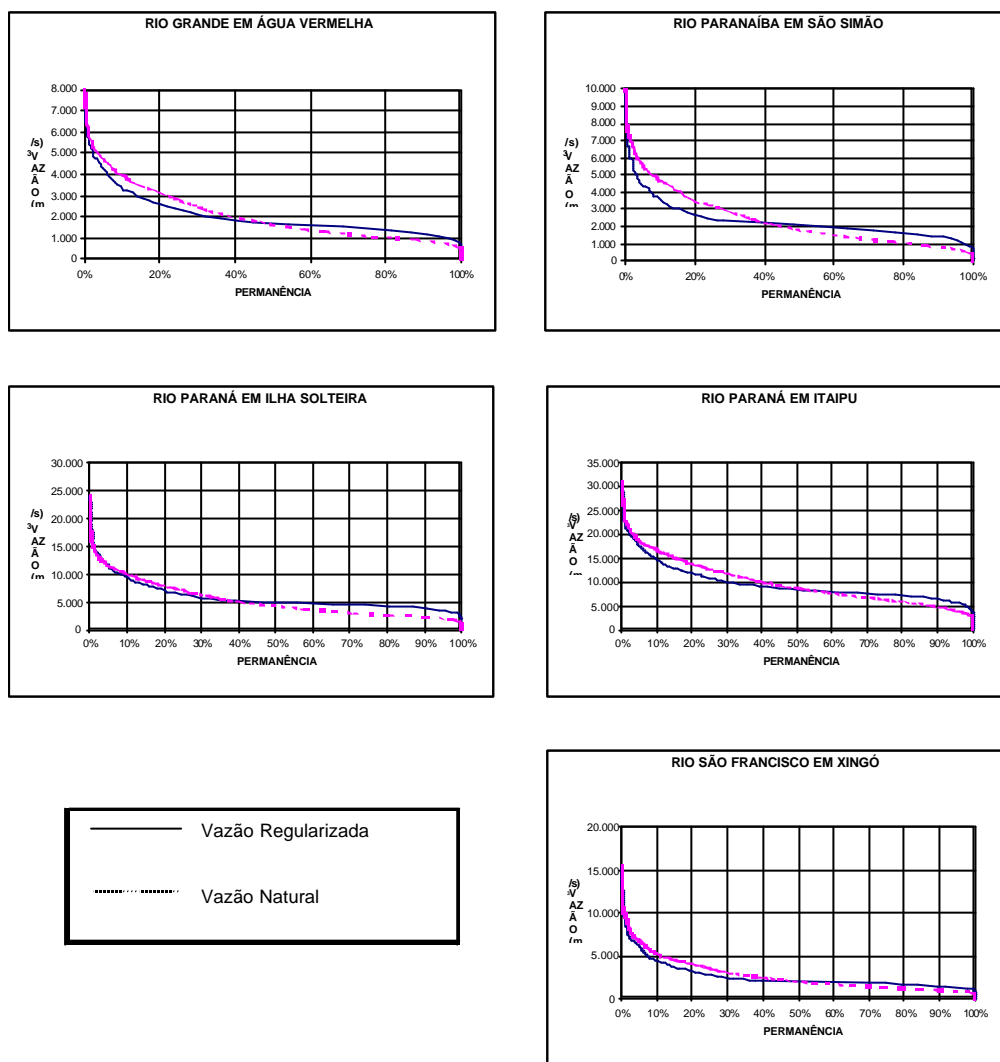


Figura 2 - CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS NOS LOCAIS DAS USINAS

UHE	RIO	Q 95% (m ³ /s)		DQ (%)
		Vazão Afluente Natural	Vazão Afluente Regularizada	
São Simão	Paranaíba	697	1236	77,3
Água Vermelha	Grande	738	1073	45,4
Ilha Solteira	Paraná	1993	3491	75,2
Itaipu	Paraná	3952	5722	44,8
Xingó	S. Francisco	898	1350	50,3

Permanência de Vazões nos Locais das Usinas

Com a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos surge a figura dos Comitês de Bacia Hidrográfica, que terão como área de atuação uma bacia, ou grupo de bacias ou sub-bacias contíguas, cuja função será, dentre outras, debater as questões de recursos hídricos da bacia, articular a atuação de entidades intervenientes, arbitrar conflitos entre os usuários dos recursos hídricos e aprovar e acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da Bacia.

SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.

Gramado, RS, de 5 a 8 de Outubro de 1998

Historicamente, o crescimento industrial e a elevação do nível de conforto de sociedade exigiram um crescimento do fornecimento de energia elétrica trazendo como conseqüência a priorização do aspecto energético no planejamento da utilização dos recursos hídricos das bacias hidrográficas.

Atualmente, o processo de desenvolvimento do País coloca em evidência conflitos de interesses no que dizem respeito à utilização dos recursos hídricos pelos vários setores de economia, numa escala tal que deverá se agravar à medida que esses recursos se tornem cada vez mais escassos.

Como pode ser constatado, através dos resultados apresentados, o Setor Elétrico, no que se refere a alteração do regime fluvial, ao invés de um usuário consuntivo dos recursos hídricos, é na verdade um usuário que investe na disponibilidade dos recursos a serem utilizados na geração da energia elétrica.

Essa característica, num momento em que torna-se imperiosa a utilização múltipla e racional dos recursos hídricos nacionais, confere ao Setor Elétrico um importante papel na implantação dos diversos Planos de Recursos Hídricos através de disponibilidade dos seus instrumentos de planejamento, de forma a considerar dentro do horizonte de planejamento do setor elétrico, as necessidades dos outros usuários, os recursos hídricos disponíveis e os critérios de rateio dos investimentos necessários.

Considerando que qualquer utilização consuntiva dos recursos hídricos otimizados pelo Setor Elétrico, isoladamente, tem um custo relativo à perda de energia gerada à jusante do ponto de utilização, constituindo portanto fator importante para as negociações futuras, a questão se coloca para discussão no âmbito de Comitês de Bacia Hidrográfica e usuários desses recursos, para avaliação da eventual compensação ao Setor pela não geração de energia, sempre que ocorrerem retiradas com o objetivo diferente do abastecimento humano.