

REGRAS DE OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL / SISTEMA GUANDU

Marcos Airton de Sousa Freitas¹

Resumo: A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, onde vivem 5 milhões de habitantes, possui cerca de 57.000 Km² e estende-se pelos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Aproximadamente 2/3 de suas águas são transpostas para a bacia do Guandu, a qual abastece outros 8 milhões de habitantes da região metropolitana do Rio de Janeiro, além de produzir energia e fornecer água às indústrias da região. Em 17 de julho de 2000, através da Lei nº 9.984, foi criada a Agência Nacional de Águas – ANA, tendo entre suas atribuições, definir as condições de operação de reservatórios de aproveitamentos hidrelétricos em articulação com o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Objetiva-se pro meio deste artigo fazer uma síntese das simulações realizadas, e posteriormente discutidas no âmbito do Comitê da Bacia, resultando na edição da Resolução Nº 211/2003, dispoendo sobre as regras a serem adotadas para a operação do sistema hidráulico do Rio Paraíba do Sul, que compreende, além dos reservatórios localizados na bacia, também as estruturas de transposição das águas do Rio Paraíba do Sul para o Sistema Guandu. As regras até então vigentes tinham sido estabelecidas pela Portaria DNAEE nº 022/1977 e pelo Decreto nº 81.436/1978. Pretendeu-se apresentar o Sistema de Suporte à Decisão desenvolvido para a simulação do referido sistema, utilizando o modelo de rede de fluxo, denominado AcquaNet, empregado em simulação de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: regras de operação de reservatórios; sistema de suporte à decisão.

1. INTRODUÇÃO

Em 17 de julho de 2000, através da Lei nº 9.984, foi criada a Agência Nacional de Águas – ANA, tendo entre suas atribuições, definir as condições de operação de reservatórios de aproveitamentos hidrelétricos em articulação com o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

Desde a sua implantação em dezembro de 2000, a ANA vem realizando estudos com vistas à reavaliação das regras atualmente utilizadas pelo ONS para a operação dos reservatórios da bacia do Paraíba do Sul (Figura 1), que tem como base os seguintes dispositivos legais: a) Decreto nº 68.324, de 9 de março de 1971; b) Decreto nº 73.619, de 12 de fevereiro de 1974, designando o DNAEE como responsável pelo estabelecimento das normas operativas dos reservatórios; c) Portaria DNAEE nº 022, de 14 de fevereiro de 1977, definindo o GCOI como responsável pelo acompanhamento da operação rio Paraíba do Sul. A partir deste acompanhamento, o GCOI deveria submeter à aprovação do DNAEE as novas regras de operação; d) Decreto nº 81.436, de 09 de março de 1978.

Desde o ano de 1997, os reservatórios de Paraibuna (área de drenagem de 4.150 km²) e Santa Branca (área de drenagem de 5.030 km²), localizados no rio Paraíba do Sul, e Jaguari (área de drenagem de 1.300 km²), no rio Jaguari, não vinham conseguindo recuperar seus volumes úteis. Os reservatórios de Paraibuna e Jaguari, considerados os “pulmões” do sistema hidráulico da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, pois representam, em conjunto, cerca de 80% do armazenamento total da bacia.

A figura 2 apresenta o esquema do sistema hidráulico do rio Paraíba do Sul e transposição para a bacia do rio Guandu.

Na figura 3 é mostrada a evolução do armazenamento equivalente, dos reservatórios da bacia em porcentagem do volume útil, a partir janeiro de 1993. Também é indicada a curva limite para redução da vazão objetivo em Santa Cecília de 250 m³/s para 190 m³/s, estabelecida pela Portaria DNAEE 022, de 1977.

A evolução anual do armazenamento equivalente e a previsão da evolução deste armazenamento para o final do período seco do ano de 2003 são apresentadas na figura 4.

¹Engº Civil; Prof. Universitário; Espec. em Rec. Hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA) ; Diretor Técnico-Científico da Associação dos Servidores da Agência Nacional de Águas (ASÁGUAS); End. Prof.: SPS, Área 5, Quadra 3, Bl. L, Brasília-DF. Telef: +55-61-445-5348; E-mail: masfreitas@ana.gov.br

Mapa de Localização da Bacia do Paraíba do Sul



Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul

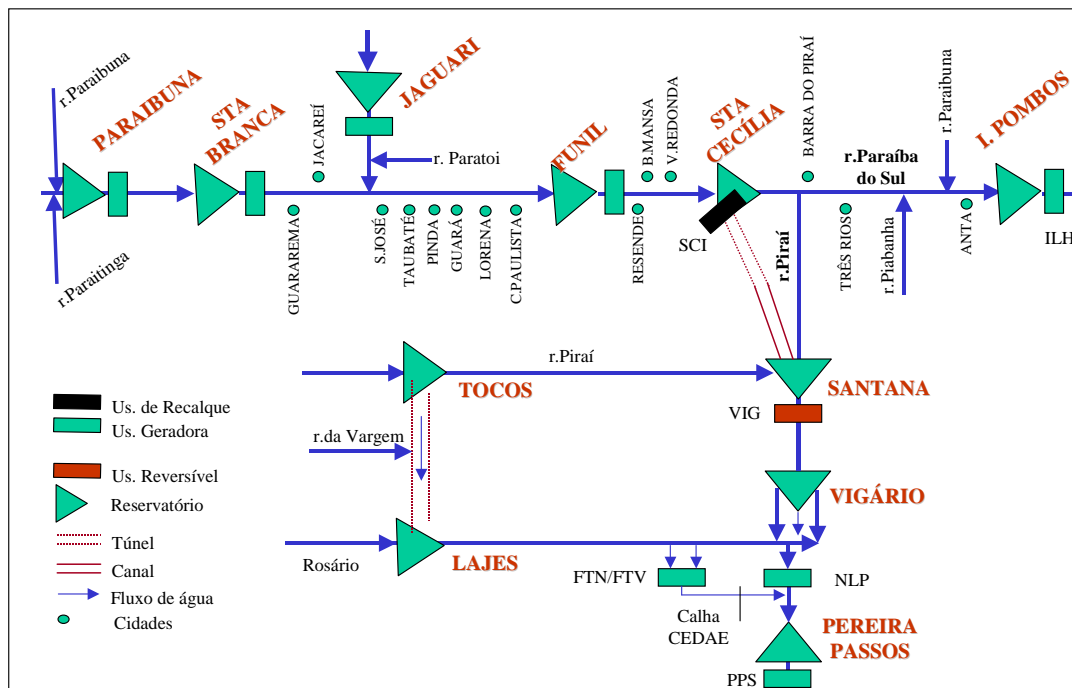


Figura 2: Esquema do Sistema Hidráulico do rio Paraíba do Sul e Transposição para a Bacia do Rio Guandu.

O motivo das reduzidas vazões afluentes poderia estar associado ao baixo nível pluviométrico dos últimos anos na bacia hidrográfica, às vazões defluentes estarem acima da capacidade de regularização dos reservatórios, ou ainda a uma combinação de ambos os fatores. Nesse sentido, efetuou-se uma avaliação da capacidade de regularização dos reservatórios de Paraibuna e Jaguari, considerados os “pulmões” do sistema hidráulico da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

Foram adotadas as séries de vazões disponíveis no Sistema de Informações do Potencial Elétrico Brasileiro – SIPO. Foram também analisadas as evoluções históricas das vazões defluentes aos reservatórios Paraibuna e Jaguari, para o período de 1993 a 2003.

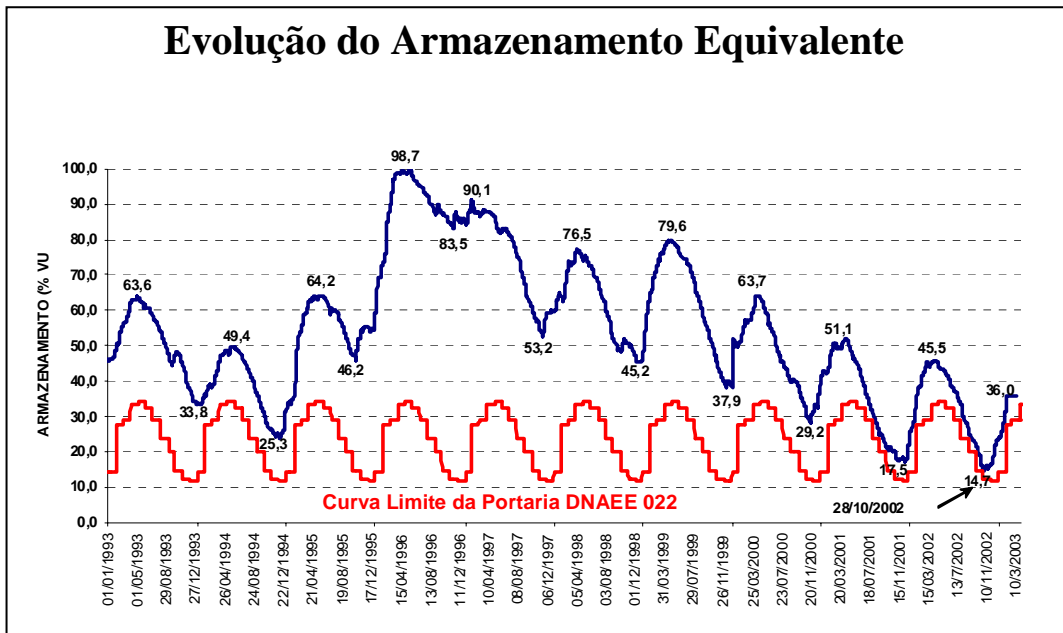


Figura 3. Evolução do armazenamento equivalente na bacia do Paraíba do Sul juntamente com a curva limite para redução da vazão objetivo em Santa Cecília de 260 para 190 m³/s.

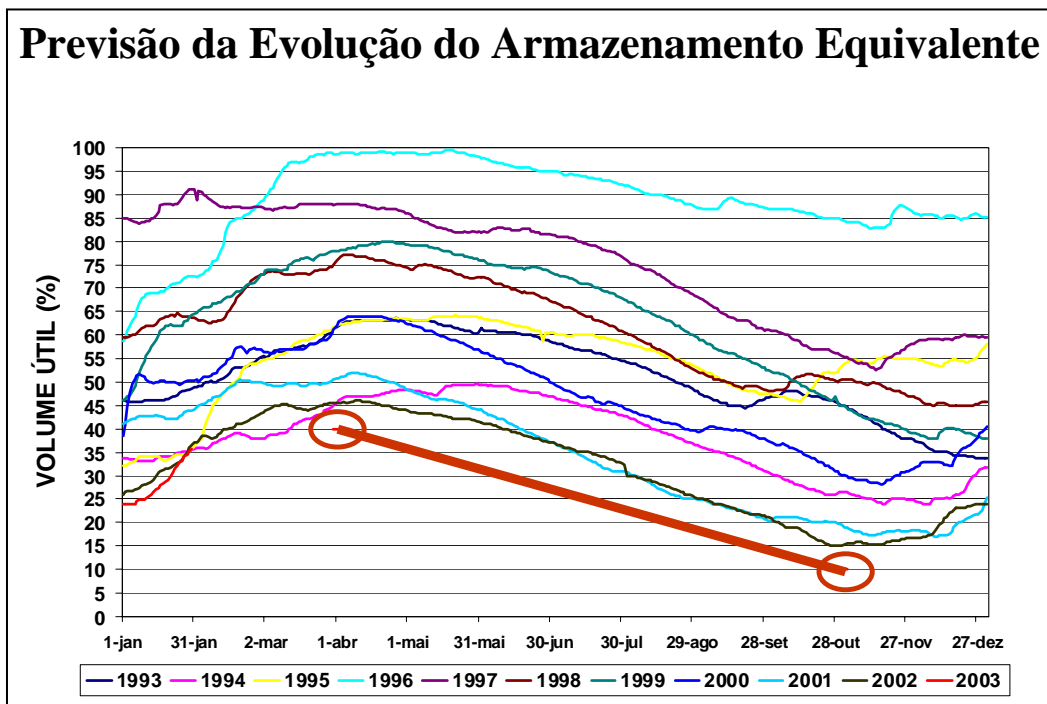


Figura 4. Previsão da evolução do armazenamento equivalente na bacia do Paraíba do Sul

2. EVOLUÇÃO DOS VOLUMES ARMAZENADOS NOS PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS DA BACIA

Na tabela 1 são apresentadas as principais características dos reservatórios de Paraibuna e Jaguari.

Tabela 1. Características dos reservatórios Paraibuna e Jaguari.

Usina	Data do início do enchimento	Data do início da operação	N.A. máximo (m)	N.A. mínimo (m)	Volume total (10^6 m^3)	Volume útil (10^6 m^3)	Vazão média de longo termo (m^3/s)
Paraibuna	01/1974	04/1978	714,00	694,60	4.732	2.636	69,0
Jaguari	12/1969	05/1972	623,00	603,20	1.236	793	28,0

Nas figuras 5 e 6 é mostrada a evolução dos armazenamentos médios mensais dos reservatórios, desde o ano de 1993.

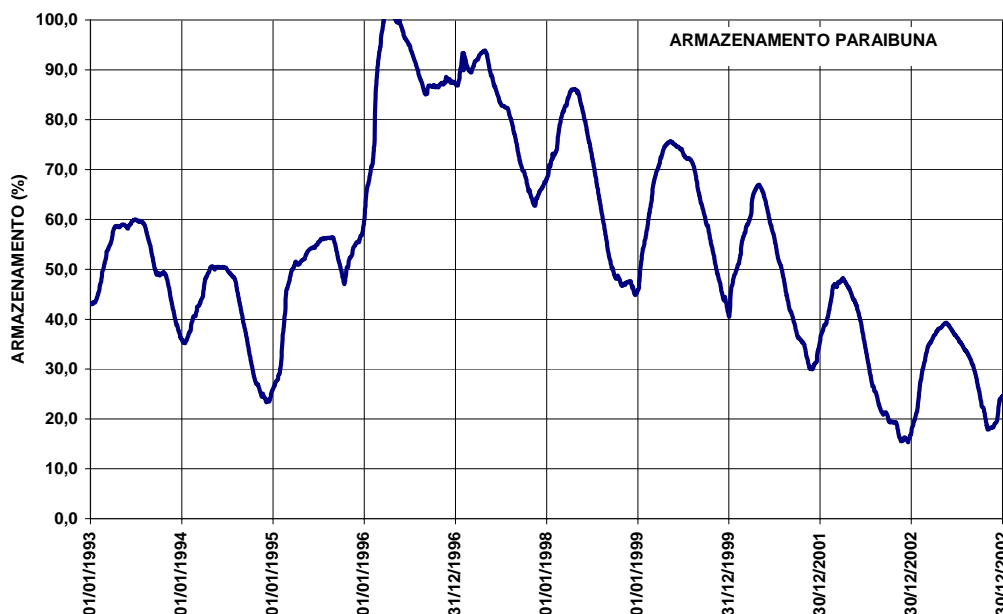


Figura 5. Evolução dos volumes armazenados no reservatório Paraibuna

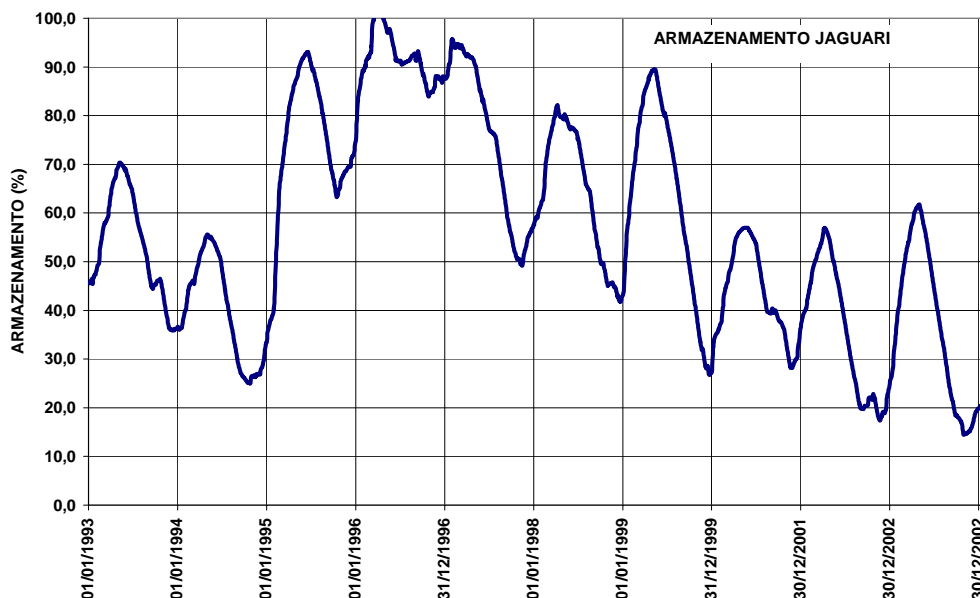


Figura 6. Evolução dos volumes armazenados no reservatório Jaguari

Como se pode observar nessas figuras, a partir de 1997 os reservatórios não conseguiram recuperar os seu volumes úteis.

Na tabela 2 são apresentados os principais requisitos de vazões mínimas ($Q_{\text{mín}}$) e máximas ($Q_{\text{máx}}$) estabelecidos nos dispositivos legais vigentes até o ano de 2002.

Tabela 2. Requisitos de vazões defluentes mínimas e máximas

	Decreto nº 68.324/1971	Portaria DNAEE nº 022/1977	Decreto nº 81.436/1978
Jusante de Paraibuna		$Q_{\text{mín}} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$	
Jusante de Santa Branca		$Q_{\text{mín}} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$	
Jusante de Jaguari		$Q_{\text{mín}} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{\text{mín}} = 42 \text{ m}^3/\text{s}$ no período seco anual (junho a novembro)	
Jusante de Funil		$Q_{\text{mín}} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$	
Afluência a Santa Cecília		$Q_{\text{mín}} = 190 \text{ m}^3/\text{s}$	
Jusante da estação elevatória de Santa Cecília	$Q_{\text{mín}} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\text{mín}} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\text{mín}} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{\text{mín}} = 71 \text{ m}^3/\text{s}$ (condições hidrológicas adversas)
Bombeamento Santa Cecília	$Q_{\text{máx}} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\text{mín}} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\text{mín}} = 119 \text{ m}^3/\text{s}$ no caso de condições hidrológicas adversas (por inferência, 190–71)

3. PRECIPITAÇÕES, VAZÕES AFLUENTES AOS PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS DA BACIA E ESTIMATIVAS DE DEMANDAS

As usinas de Paraibuna (rio Paraibuna/Paraitinga) e de Jaguari (rio Jaguari), localizadas nas cabeceiras da bacia, sem, portanto, impacto da operação de reservatórios a montante, foram escolhidas para uma primeira análise. Foram empregadas as séries de vazões mensais naturais, disponíveis no Sistema de Informações do Potencial Elétrico Brasileiro (SIPOT, 2003).

Nas figuras 7 e 8, é mostrada a evolução histórica das vazões naturais, no período de 1931 a 2002, respectivamente, para a usina de Paraibuna e de Jaguari. Conforme se pode observar, a partir de 1997 as vazões naturais têm sido abaixo da vazão média de longo termo. Na tabela 3 são mostradas as vazões captadas, entre os trechos de reservatórios, estimadas pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos.

Tabela 3. Vazões captadas entre os trechos de reservatórios pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos.

Vazão captada (m^3/s) - Plano Nacional

Demanda	Paraibuna	Santa Branca	Funil	Santa Cecília	Jaguari	Total
Humana	0.30	0.09	6.21	2.67	2.86	12.13
Animal	0.07	0.02	0.19	0.09	0.02	0.39
Indústria	0.11	0.07	4.59	1.22	2.46	8.45
Irrigação	0.14	0.02	7.45	0.26	0.13	8.01
Total	0.62	0.20	18.44	4.24	5.47	28.97

As séries de precipitações analisadas apresentaram não evidenciaram, estatisticamente uma redução na precipitação no período de 1997 a 2002.

Contudo a precipitação média na bacia do rio Paraíba do Sul, como um todo, apresentou uma diminuição nos totais pluviométricos a partir de outubro de 2001. Segundo o INPE, o total acumulado no período de outubro de 2001 a 14 de abril de 2003 foi de 2019mm e a média de longo termo, para o mesmo período, foi de 2676mm. Na figura 7 observa-se mensalmente esta diminuição.

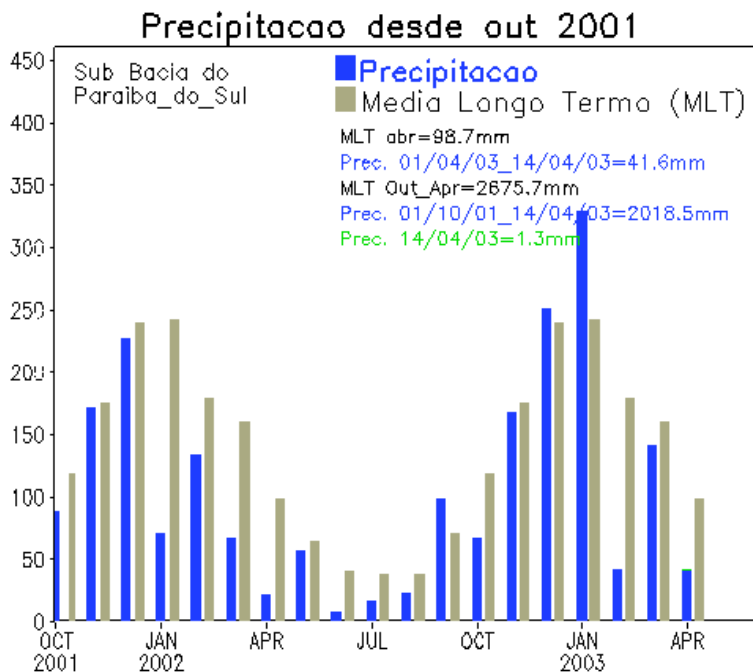


Figura 7. Precipitação Média Mensal no período Outubro/2001a Abril/2003 e comparativo com a Média de Longo Período para a bacia do rio Paraíba do Sul. Fonte: (<http://www.cptec.inpe.br/%7energia>)

4. VAZÕES DEFLUENTES AOS PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS

Na Portaria DNAEE n° 022, de 14 de fevereiro de 1977 foi estabelecido $Q_{mín}=30 \text{ m}^3/\text{s}$ a jusante de Paraibuna. Para o reservatório de Jaguari, $Q_{mín}=10 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{máx}=42 \text{ m}^3/\text{s}$ no período seco anual (junho a novembro).

As evoluções históricas das vazões defluentes aos reservatórios Paraibuna e Jaguari, respectivamente, para o período de 1993 a 2003 são apresentadas nas figuras 8 e 9. Para o reservatório Paraibuna, verificou-se, em especial, no período de 2001, que houve uma defluência maior que o valor mínimo de $30 \text{ m}^3/\text{s}$ praticamente durante todo o ano, com exceção para os meses de janeiro e fevereiro.

Já no ano de 2002, a defluência mínima de $30 \text{ m}^3/\text{s}$ foi praticada durante os cinco primeiros meses. Para os demais meses a defluência foi maior. Com respeito ao reservatório Jaguari, para os anos 2001 e 2002, cumpriu-se a Portaria DNAEE n° 022, de 14 de fevereiro de 1977, que estabelece uma vazão mínima de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ e uma vazão máxima de $42 \text{ m}^3/\text{s}$, para os meses de junho a novembro.

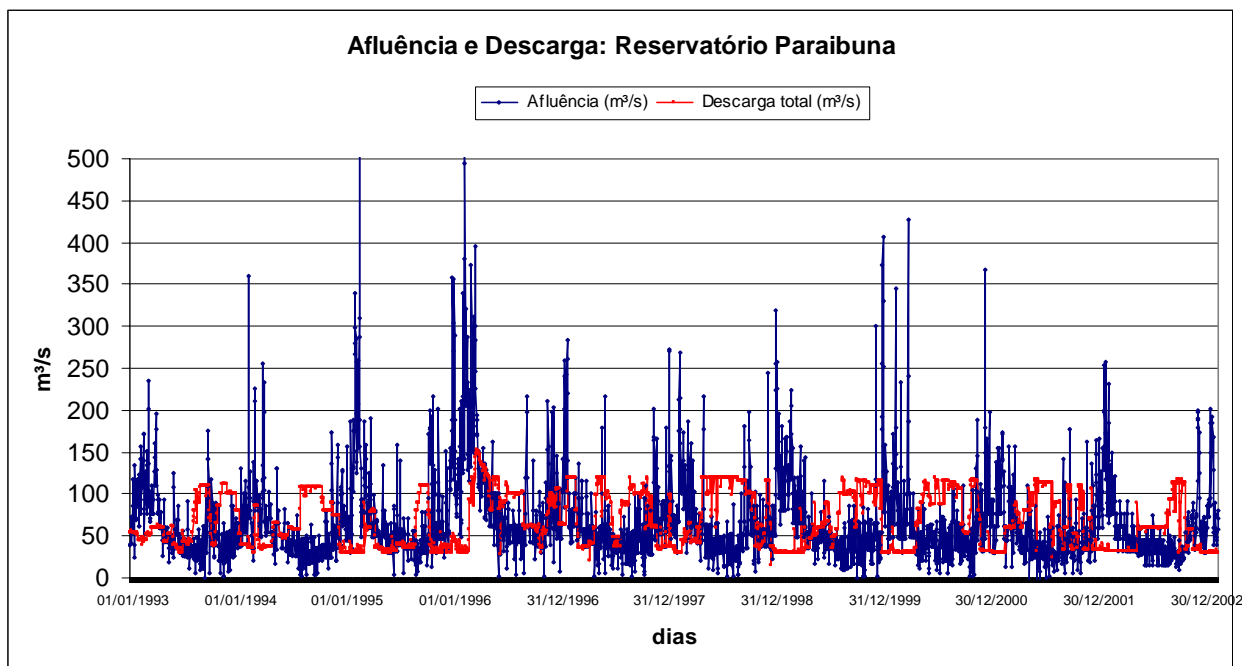


Figura 8. Afluência e descarga. Reservatório Paraibuna (1993 a 2003).

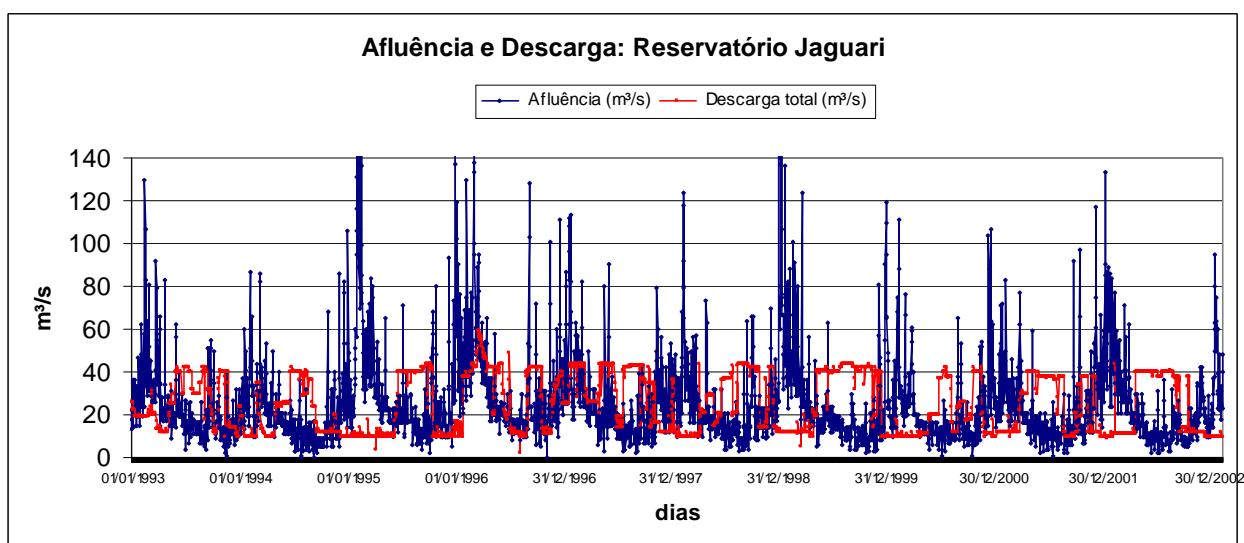


Figura 9. Afluência e descarga. Reservatório Jaguari (1993 a 2003).

5. SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO PARA A BACIA DO PARAIBA DO SUL

Com o intuito de simular a operação dos reservatórios da bacia do Paraíba do Sul empregou-se o sistema hidráulico da bacia, utilizando o modelo *AcquaNet* (figura 10). O *AcquaNet* é um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas. Com ele, pode-se montar redes com um grande número de reservatórios (representado pelos triângulos), demandas (quadrados) e trechos de canais (ligações), representando o problema em estudo de forma bastante detalhada. Os círculos ou nós de passagens representam as confluências de rios, estações elevatórias ou usinas hidrelétricas. O *AcquaNet* foi desenvolvido pelo LabSid da Escola Politécnica da USP e é originário do modelo MODSIM, desenvolvido na Universidade do Colorado (Labadie, 1988).

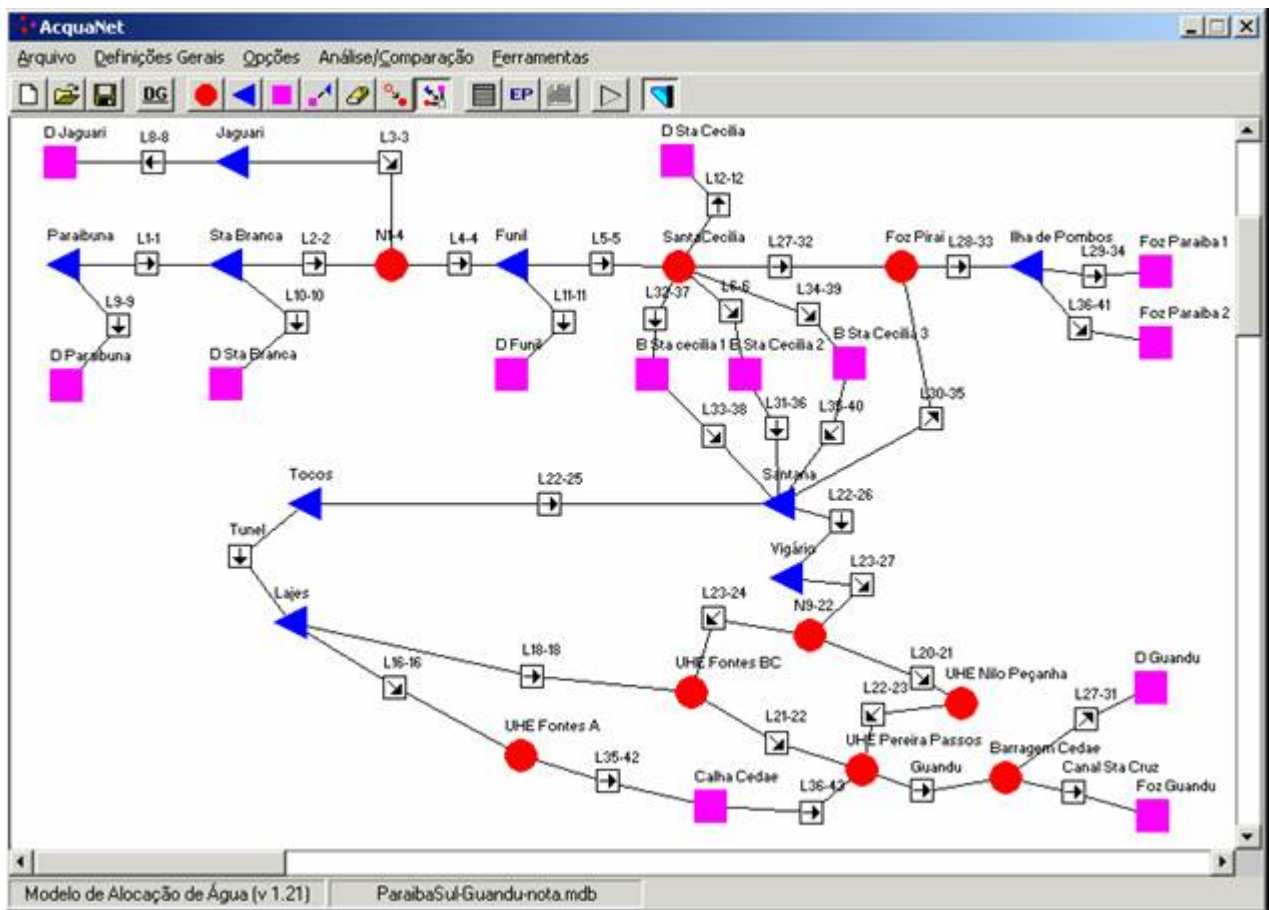


Figura 10. Representação do modelo de operação dos reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul

Na figura 11 são apresentados os resultados das simulações dos reservatórios. São mostradas as vazões “firmes” ou regularizadas pelos reservatórios Paraibuna e Jaguarí, respectivamente, para diferentes níveis de garantia, considerando a série histórica de afluência de 1931 a 2002. Para o reservatório Paraibuna a vazão regularizada com 100% de garantia ($Q_{100\%}=62,78 \text{ m}^3/\text{s}$) representa cerca de 90,97% da vazão média de longo termo ($69,01 \text{ m}^3/\text{s}$). Para o reservatório Jaguarí a vazão regularizada com 100% de garantia ($Q_{100\%}=25,2 \text{ m}^3/\text{s}$) corresponde aproximadamente a 87,74% da vazão média de longo termo ($28,72 \text{ m}^3/\text{s}$).

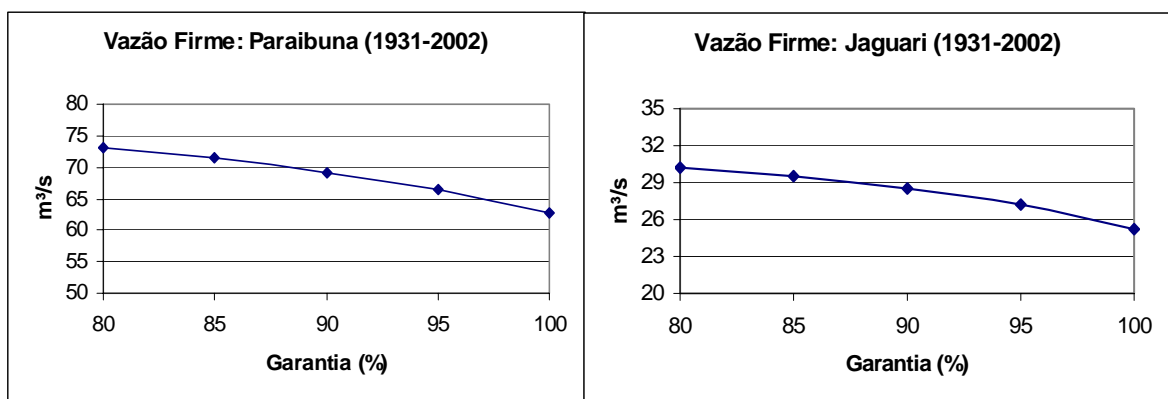


Figura 11. Vazão firme do reservatório Paraibuna e do reservatório Jaguarí

5.1 Novas Regras de Operação para os Reservatórios da Bacia

Com a utilização do modelo implementado no AcquaNet pode-se testar inúmeras possibilidades de vazões defluentes a cada reservatório, assim como restrições de valores máximos e ordem de prioridade no deplecionamento dos reservatórios. Após articulações com Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e com o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul – CEIVAP e Comitê da Bacia do rio Guandu, foi publicada a Resolução Nº211, de 26 de maio de 2003, a qual dispõe sobre as regras a serem adotadas

para a operação do sistema hidráulico do Rio Paraíba do Sul, que compreende, além dos reservatórios localizados na bacia, também as estruturas de transposições das águas do Rio Paraíba do Sul para o sistema Guandu.

O Art. 1º da referida Resolução estabelece, em caráter emergencial, as seguintes regras de operação para o sistema hidráulico do rio Paraíba do Sul:

I - a descarga mínima a jusante dos aproveitamentos deve respeitar os seguintes limites:

a) Paraibuna	30 m ³ /s
b) Santa Branca	40 m ³ /s
c) Jaguari	10 m ³ /s
d) Funil	80 m ³ /s
e) Santa Cecília	71 m ³ /s (instantânea)
f) Pereira Passos	120 m ³ /s (instantânea)

II – quando a vazão incremental entre Funil e Santa Cecília for maior que 110 m³/s, a vazão emergencial de 71m³/s a jusante de Santa Cecília deverá ser gradativamente aumentada até atingir o limite da vazão mínima normal de 90m³/s;

III - o limite mínimo para a vazão média de bombeamento em Santa Cecília é de 119m³/s;

VI - o deplecionamento dos reservatórios para atender o limite mínimo de 190 m³/s em Santa Cecília (71 m³/s para a jusante e 119 m³/s para bombeamento) deve observar a seguinte ordem de prioridade, procurando manter o limite de 10% do volume útil dos mesmos:

- a) 1º - Funil;
- b) 2º - Santa Branca;
- c) 3º - Paraibuna;
- d) 4º - Jaguari.

O parágrafo único do Art. 1º reza que a ordem de prioridade de deplecionamento poderá ser revista, em função das afluições efetivamente verificadas, visando a evitar um acentuado desequilíbrio entre os armazenamentos dos reservatórios de Paraibuna e Jaguari.

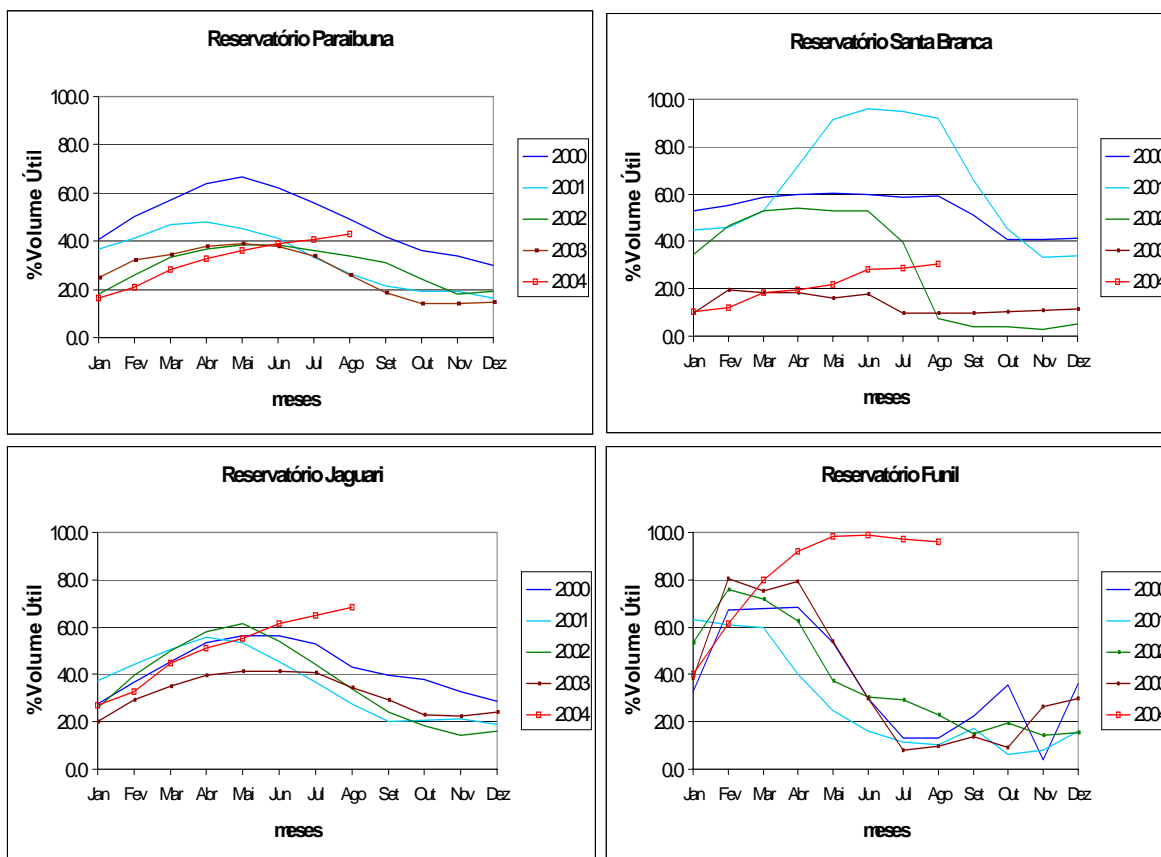


Figura 12. Volumes úteis dos reservatórios Paraibuna, Santa Branca, Jaguari e Funil (período 2000-2004)

A figura 12 apresenta os volumes úteis dos reservatórios Paraibuna, Santa Branca, Jaguari e Funil, para o período de janeiro de 2000 a agosto de 2004, mostrando uma sensível recuperação dos reservatórios após a aplicação das regras de operação definidas pela nova resolução.

6. CONCLUSÕES

As vazões naturais afluentes aos reservatórios Paraibuna e Jaguari para o período de 1996 a 2001, foram, de fato, inferiores às vazões médias de longo termo. Em relação às séries de precipitação, verificou-se que a diminuição da precipitação média, apresentada na bacia, não foi suficiente para explicar o baixo nível atual de acumulação dos reservatórios da bacia.

Considerando que os reservatórios da bacia não conseguiram recuperar os seus volumes úteis nos últimos anos e considerando a importância da bacia do Paraíba do Sul para o abastecimento de várias cidades, inclusive parte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro foi editada uma Resolução sobre as regras a serem adotadas, para a operação do sistema hidráulico do rio Paraíba do Sul, compreendendo além dos reservatórios localizados na bacia, também as estruturas de transposição das águas do rio Paraíba do Sul para o sistema Guandu.

As novas regras de operações, definidas com o auxílio do modelo de rede de fluxo AcquaNet, mostraram-se eficientes na recuperação dos reservatórios na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fonte: (<http://www.cptec.inpe.br/%7energia>)

LABADIE, J. W. - Program Modsim: River Basin Network Flow Model For The Microcomputer, Department of Civil Engineering, Colorado State University, 1988.

Resolução ANA N°211, de 26 de maio de 2003.

SIPOT, 2003 – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro, Versão 4.0, ELETROBRÁS.