

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE NOVAS TRANSPOSIÇÕES DE VAZÃO NO RIO PARAÍBA DO SUL

RF: RELATÓRIO FINAL

Preparado para:

AGEVAP

Setembro 2013

VERSÃO FINAL

PSR

SUMÁRIO

1	Introdução.....	6
2	Cenários de Transposições	7
2.1	Cenário Atual	7
2.2	Cenários Futuros	11
3	Estudos Hidrológicos.....	13
4	Estudos de Demandas de Usos	21
5	Estudos de Qualidade da Água.....	26
6	Estudos de Modelagem Hidrológica – Hidráulica.....	29
7	Conclusões.....	33
8	Recomendações	35
9	Referências	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva limite estabelecida pela portaria nº022	9
Figura 2: Sistema Hidráulico do rio Paraíba do Sul	10
Figura 3: Curva de Permanência das Vazões Médias Diárias Afluentes - UEL Santa Cecília.	11
Figura 4: Mapa da localização das estações selecionadas	14
Figura 5: Curvas de Permanência – Estações Santa Branca, Guararema e Jacareí (1948 a 1970)	15
Figura 6: Curvas de Permanência – Estações Caçapava, Tremembé, Pindamonhangaba e Guaratinguetá (1948 a 1970).....	16
Figura 7: Curvas de Permanência – Estações Cachoeira Paulista, Cruzeiro 1 e Cruzeiro 2 (1958 a 1980).....	17
Figura 8: Curvas de Permanência – Estações Queluz 1, Queluz 2, Itatiaia e Resende (1956 a 2005).....	18
Figura 9: Curvas de Permanência – Estações Barra Mansa 1, Barra Mansa 2, Volta Redonda, Barra do Pirai e Paraíba do Sul (1973 a 1995)	19
Figura 10: Curvas de Permanência – Estações Anta, Três Irmãos, São Fidélis e Campos – Ponte Municipal (1980 a 2002)	20
Figura 11: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 38 m ³ /s simulado para 2010 sem transposição.	27
Figura 12: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 31 m ³ /s simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior caso).....	27
Figura 13: Limites de capacidade dos arcos	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Requisitos de vazões extremas para o rio Paraíba do Sul.....	9
Tabela 2: Permanência de Vazões Médias Diárias Afluentes da UEL de Santa Cecília Período 1980 a 2011	10
Tabela 3: Transposição de vazões para a macrometrópole de São Paulo.....	12
Tabela 4: Estações selecionadas para o estudo hidrológico.	13
Tabela 5: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações de Santa Branca, Guararema e Jacaraí no período de 1948 a 1970.....	16
Tabela 6: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Caçapava, Tremembé, Pindamonhangaba e Guaratinguetá (1948 a 1970).....	16
Tabela 7: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Cachoeira Paulista, Cruzeiro 1 e Cruzeiro 2 (1958 a 1980).....	17
Tabela 8: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Queluz 1, Queluz 2, Itatiaia e Resende (1956 a 2005)	18
Tabela 9: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Barra Mansa 1, Barra Mansa 2, Volta Redonda, Barra do Piraí e Paraíba do Sul (1973 a 1995)	19
Tabela 10: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Anta, Três Irmãos, São Fidélis e Campos – Ponte Municipal (1980 a 2002)	20
Tabela 11: Vazões utilizadas para a modelagem de qualidade da água e hidrodinâmica nos trechos selecionados	26
Tabela 12: Trecho Paulista junto ao município de Jacareí	30
Tabela 13: Trecho junto à captação em Santa Cecília.....	30
Tabela 14: Trecho junto ao município de Campos	30
Tabela 15: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m ³ /s) – Trecho junto à captação em Santa Cecília	31
Tabela 16: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m ³ /s) – Trecho junto ao município de Campos	31
Tabela 17: Perda energética por transposição prevista.....	32
Tabela 18: Vazões de retirada simuladas e restrições de vazão estabelecidas em decreto.....	32

SIGLAS E ABREVIATURAS

AGEVAP – Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

CEIVAP – Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro

CESAMA – Companhia de Saneamento e Pesquisa do Meio Ambiente (MG – JF)

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

COPPE – Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (UFRJ)

DAE-MG Departamento de Água e Energia Elétrica de Minas Gerais

DAEE/SP – Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Light – Serviço de Eletricidade S/A.

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste Relatório Final é consolidar os resultados apresentados nos relatórios anteriores, de acordo aos termos de referência da Proposta Técnica do Ato Convocatório nº 18 publicado pela AGEVAP. O relatório investiga os impactos de diferentes esquemas de transposições¹ na bacia do Rio Paraíba do Sul, considerando tanto os usos d'água atuais (2013) como esperados para os horizontes 2025 e 2035.

O presente relatório resume os resultados apresentados nos seguintes trabalhos anteriores:

1. Estudos Hidrológicos
2. Estudo das Demandas de Usos Consuntivos e Não Consuntivos
3. Estudos de Qualidade da Água e Hidrodinâmica
4. Estudos de Modelagem Hidrológico-hidráulica

Os estudos hidrológicos apresentaram vazões médias por bacia contribuinte, vazões máximas durante as cheias, vazões mínimas nos períodos de estiagem e os sedimentos transportados. Este conjunto de informações caracteriza de forma geral o regime hidrológico do rio em seus diversos trechos.

Os estudos das Demandas de Usos Consuntivos e não consuntivos permitiram estimar a vazão consumida (retirada definitivamente) do curso d'água para fins de abastecimento humano, industrial ou agropecuário. Esta estimativa permite realizar a estratégia para o Comitê de Gestão da Bacia.

Os Estudos de Qualidade da Água permitiram a caracterização de trechos do rio com qualidade de água crítica, uma vez que o uso da água possui importância e relevância distinta para cada usuário. O mesmo relatório apresenta modelo de simulação hidrodinâmica utilizado para identificar trechos críticos de vazões nos períodos de estiagem.

Por fim, o Estudo de Modelagem Hidrológico-hidráulica teve por objetivo relacionar o comportamento do corpo hídrico e a demanda do insumo pelos diversos usuários de forma a contemplar o cenário atual e os cenários futuros, nos horizontes de 2025 e 2035.

Os quatro estudos apresentados permitiram, em conjunto, investigar os impactos das transposições de vazão projetadas por São Paulo no rio Paraíba do Sul, no que consiste à demanda dos usuários de toda a bacia e seus desdobramentos.

¹Foram consultados os estudos relativos às transposições de vazão para atendimento da Macrometrópole de São Paulo (Elaboração do Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista – Janeiro 2010.). Não há previsões de novas transposições para outros pontos ao longo da bacia do rio Paraíba do Sul.

2 CENÁRIOS DE TRANSPOSIÇÕES

2.1 Cenário Atual

O cenário atual é caracterizado por uma série de projetos de Captação e Ampliação de Usos da Água, a saber:

1. Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Light/Cedae); e
2. Baixo Paraíba do Sul (adução em Campos para os sistemas Macaé-Campos e São Bento).

As informações citadas acima foram analisadas e incluídas na modelagem hidrológico-hidráulica, conforme descrição a seguir.

Nesse sentido, a transposição da região metropolitana do Rio de Janeiro (sistema Light/Cedae) é a maior transposição implantada no Brasil além de ser a primeira existente no rio, e maior em termos de altura manométrica, sendo projetada para fins de geração de energia elétrica. No entanto, fato é que este sistema é hoje um aproveitamento de uso múltiplo.

Com intenção de se obter a série de vazões médias mensais no trecho do Rio Paraíba do Sul a jusante do sistema Light/Cedae, é essencial o conhecimento do complexo sistema de recursos hídricos da bacia, envolvendo o parque gerador de grande importância, reservatórios de regularização de vazões e controle de cheias, transposição de águas para a vertente Atlântica da Serra do Mar, tendo por finalidade o aproveitamento do potencial elétrico propiciado por uma queda de quase 300 metros e para abastecimento público, caracterizando diversos usos conflitantes da água.

De acordo com a Portaria DNAEE nº 022 de 24 de fevereiro de 1977, que estabelece as regras de operação da cascata de reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul até o reservatório de Santa Cecília, e as resoluções GCOI no RS-SE-791/81 e no RS-G-545/85, pode-se dizer que a operação hidráulica dos reservatórios do rio Paraíba do Sul visa assegurar uma afluência ao reservatório de Santa Cecília que atenda à derivação para o Sistema LIGHT e à uma restrição de defluência mínima para jusante.

Esta operação é feita de forma a atender à derivação máxima na Usina Elevatória - UEL Santa Cecília em 160 m³/s, e à restrição de defluência mínima de 90 m³/s para jusante, resultando, portanto, em uma vazão objetivo normal afluente à Santa Cecília de 250 m³/s. Como o reservatório de Santa Cecília é de pequeno porte, portanto, de baixa capacidade de regularização de vazões, a execução satisfatória destas regras de operação torna-se algo não muito simples. Diante disto, o sistema de operação foi agregando novas regras que estabelecem que, em períodos de condições hidrológicas de afluições críticas, a ANEEL poderá, a seu critério, arbitrar uma defluência mínima em Santa Cecília de até 71 m³/s, mantendo-se um volume armazenado nos reservatórios a montante acima da curva limite, caracterizada por um conjunto de volumes mínimos mensais acumulados admissíveis. Neste caso, o sistema passa a ser operado para garantir uma vazão meta reduzida em Santa Cecília de 190 m³/s, sendo 71 m³/s para defluência mínima e 119 m³/s para bombeamento na UEL Santa Cecília. Este valor foi mantido na Resolução nº 211/2003 da Agência Nacional de Águas (ANA).

Tendo em vista o trabalho realizado pelo Laboratório de Hidrologia da COPPE, da SERLA e da LIGHT², as cidades situadas às margens do rio Paraíba do Sul, compreendidas entre a barragem de Santa Cecília e a foz, não sofreram alterações com a manutenção de 71 m³/s como defluência mínima de Santa Cecília, implicando na ausência de problemas nas captações para abastecimento das cidades.

No entanto, como mencionado no Produto 3 – Estudos Hidrológicos, a restrição anterior resultou de uma situação crítica de estiagem registrada na bacia (ano de 2001), que redefiniu as regras para captação visando atendimento das cidades ribeirinhas a jusante dessa tomada d'água e para a cidade do Rio de Janeiro.

O controle da vazão defluente do reservatório é feito através dos postos telemétricos Santa Cecília Jusante, localizado na margem direita imediatamente à jusante da barragem, e Barra do Piraí, situado na margem esquerda do Rio Paraíba do Sul, 3,6 km a jusante da foz do Rio Piraí. Ambos os postos são operados pela LIGHT. A seguir é feita uma breve descrição do sistema de transposição operada pela LIGHT:

- A vazão objetivo em Santa Cecília é de 250 m³/s, sendo 160 m³/s bombeados para a vertente Atlântica da Serra do Mar, e 90 m³/s para garantia da defluência mínima a jusante;
- Em condições hidrológicas críticas, o bombeamento meta pode ser reduzido para até 119 m³/s e a defluência mínima para 71 m³/s;
- A água acumulada no reservatório de Santana é bombeada para o reservatório de Vigário, sendo o bombeamento meta de 178 m³/s;
- O reservatório de Tocos, no rio Piraí, opera acumulando água para atender um desvio de até 25 m³/s, através de túnel, para o reservatório de Lajes, no ribeirão das Lajes;
- A capacidade de engolimento da UHE Nilo Peçanha é de 144 m³/s, sendo, neste local, o excesso desviado para a UHE Fontes Novas, para valorização em dois dos três grupos geradores existentes nesta usina, onde o engolimento máximo de cada grupo gerador é de 17 m³/s (observe que o engolimento da UHE Nilo Peçanha somado ao engolimento dos dois grupos geradores da UHE Fontes novas equivale à meta de bombeamento de Vigário);
- O terceiro grupo gerador da UHE Fontes novas é alimentado atualmente através do reservatório de Lajes, cuja defluência objetivo está limitada a 17 m³/s; este reservatório funciona, ainda, como reserva estratégica da LIGHT no caso de interrupção do bombeamento de Santa Cecília;
- No ribeirão das Lajes, a jusante da UHE Fontes Novas, há uma derivação para abastecimento d'água, com captação máxima de 5,5 m³/s, desviados diretamente para o reservatório de Pedregulho (CEDAE);

²COPPETEC, 2011. Relatório de Viagem às Cidades Situadas às Margens do Rio Paraíba do Sul, Compreendidas entre a Barragem de Santa Cecília, em Barra do Piraí, e a Foz, PGRH-RE-01-R0.

- Ao final da cascata está o reservatório de Ponte Coberta, cuja função resume-se à passagem da afluência para a UHE Pereira Passos, seguindo uma curva diária de geração que garante a continuidade à captação para a ETA Guandu.

Em conjunto com o trabalho realizado pelo Laboratório de Hidrologia da COPPE, 2012/2013, principalmente ao que se refere o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, pode-se perceber os requisitos de vazões extremas no rio Paraíba do Sul, conforme a Tabela 1 a seguir.

Local	Decreto nº. 68.324/71	Portaria DNAEE nº 022/77	Decreto nº. 81.436/78
Jusante de Paraibuna		$Q_{\min} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$	
Jusante de Santa Branca		$Q_{\min} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$	
Jusante de Jaguari		$Q_{\min} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{\min} = 42 \text{ m}^3/\text{s}$ no período seco anual (junho a novembro)	
Jusante de Funil		$Q_{\min} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$	
Afluência Santa Cecília		$Q_{\min} = 190 \text{ m}^3/\text{s}$	
Jusante da estação elevatória de Santa Cecília	$Q_{\min} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\min} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\min} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{\min} = 71 \text{ m}^3/\text{s}$ (condições hidrológicas adversas)
Bombeamento Santa Cecília	$Q_{\max} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\min} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\min} = 119 \text{ m}^3/\text{s}$ (condições hidrológicas adversas, por inferência 190-71 = 119)

Tabela 1: Requisitos de vazões extremas para o rio Paraíba do Sul

De forma complementar apresenta-se a curva limite estabelecida pela portaria 022 para o rio Paraíba do Sul, conforme Figura 1.

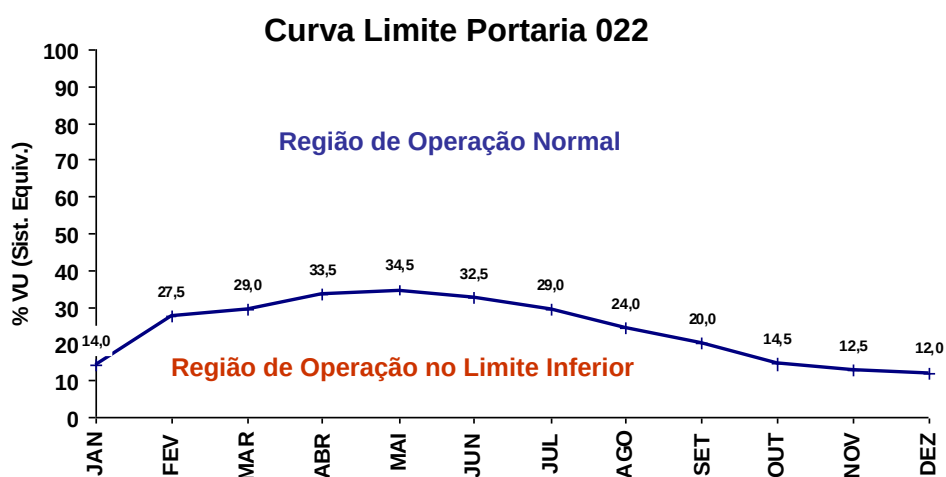


Figura 1: Curva limite estabelecida pela portaria nº022

Além disso, as resoluções em substituição Portaria nº 22 do DNAEE, com objetivo de reduzir a vazão afluente em Santa Cecília de $190 \text{ m}^3/\text{s}$ ($71 + 119$) para $160 \text{ m}^3/\text{s}$ (redução para jusante de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ e para o Complexo de Lajes de $10 \text{ m}^3/\text{s}$), durante o período de estiagem de 2003 e

estabelecer o bombeamento mínimo em Santa Cecília de 119 m³/s e a defluência instantânea mínima da UHE Pereira Passos em 120m³/s, são;

- Resolução nº 211, 26/05/2003;
- Resolução nº 282, 04/08/2003;
- Resolução nº 408, 18/11/2003;
- Resolução nº 465, 20/09/2004.

Nesse sentido, apresenta-se o Sistema Hidráulico do rio Paraíba do Sul (Figura 2) e suas respectivas descargas mínimas conforme as restrições estabelecidas anteriormente (Tabela 2).

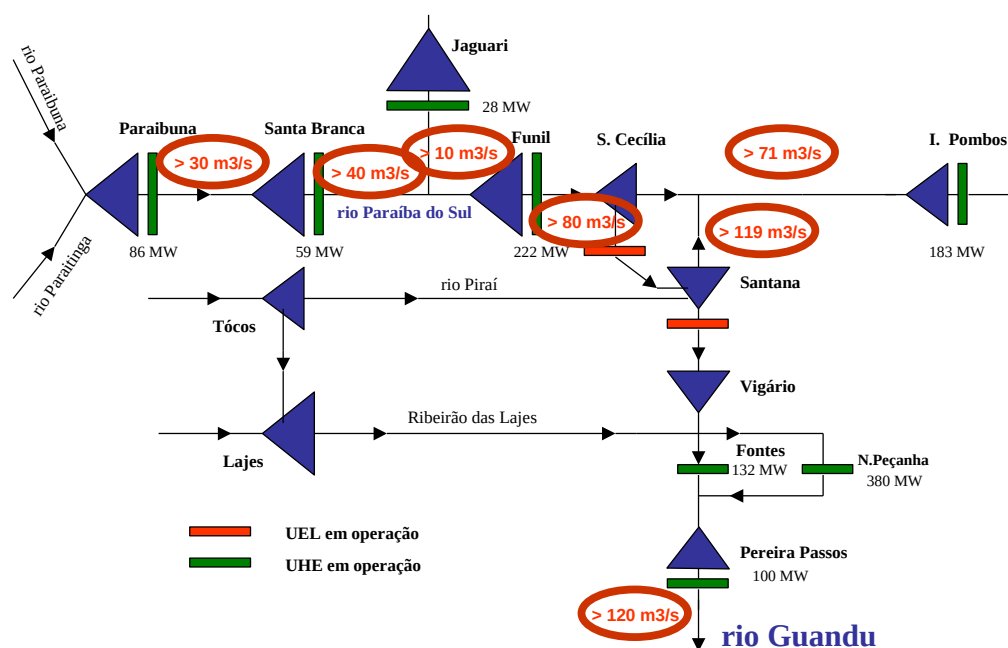


Figura 2: Sistema Hidráulico do rio Paraíba do Sul

Permanência (%)	Vazões (m³/s)
0.1	950
0.3	913
1	749
2	682
5	571
10	456
15	391
20	340
25	310
30	290
35	278
40	268

Permanência (%)	Vazões (m³/s)
45	262
50	256
55	250
60	245
65	240
70	234
75	228
80	222
85	216
90	206
95	196
100	146

Tabela 2: Permanência de Vazões Médias Diárias Afluentes da UEL de Santa Cecília Período 1980 a 2011

Por fim, apresenta-se a curva de permanência atualizada na UEL de Santa Cecília (Figura 3).

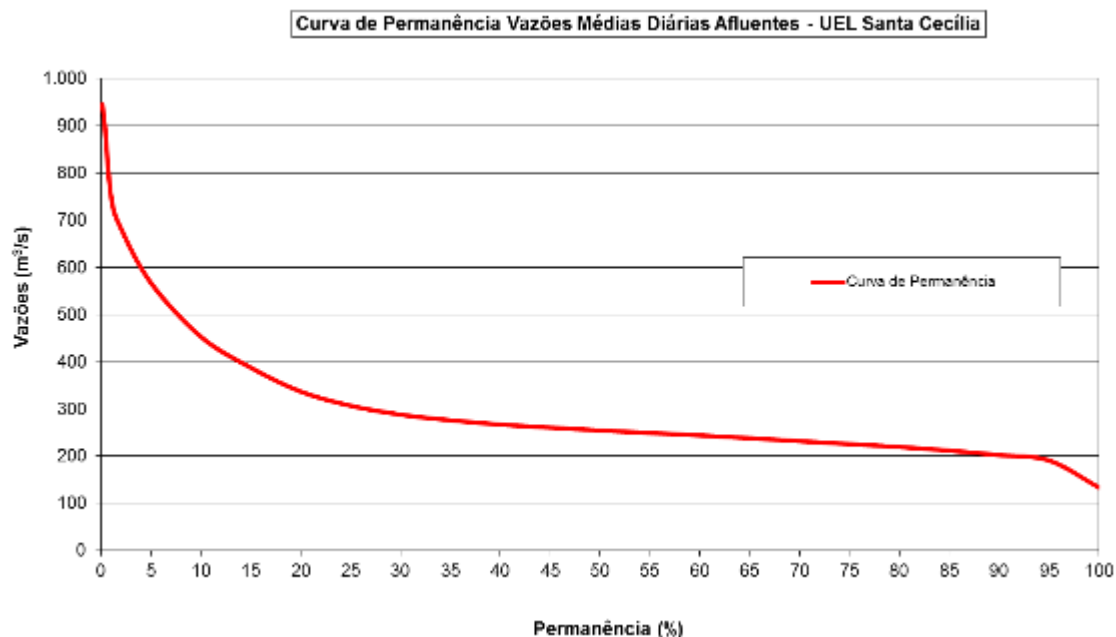


Figura 3: Curva de Permanência das Vazões Médias Diárias Afluentes - UEL Santa Cecília.

2.2 Cenários Futuros

Para a projeção de cenários futuros, em especial para os anos de 2025 e 2035, foi consultado o estudo elaborado pela Cobrape³ para obtenção das alternativas de arranjos de transposição.

No estudo em referência foram realizadas inúmeras simulações de arranjos alternativos de aproveitamentos de recursos hídricos para a Macrometrópole Paulista tendo como resultado final arranjos que reúnem as melhores condições para atender as demandas hídricas no horizonte do planejamento, sendo que um deles apresenta, ainda, uma variante.

Esses arranjos foram simulados utilizando a ferramenta SSD AcquaNet, cuja rede foi desenvolvida para os estudos do Plano Diretor Paulista. Em todos os arranjos, foi considerada a implantação da Barragem Capivari-Mirim para abastecimento do Município de Indaiatuba cujas obras já foram licitadas.

A Tabela 3, a seguir, resume as características desses arranjos com foco nos arranjos que contemplam a bacia do rio Paraíba do Sul.

³Elaboração do Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista – Janeiro 2010.

Regiões	Alternativa	Vazões máximas (m³/s)					
		#6	#7	#8	#9	#10	#11
Vertente Marítima da Serra do Mar e Bacia Hidrográfica do Alto Tietê	Itatinga-Itapanhaú	4,90	4,90				
	Braço Pequeno Billings	2,20		2,20			
Bacia Hidrográfica do rio Ribeira de Iguape (São Lourenço/ Juquiá)	Alto Juquiá						
	São Lourenço - Mambu						
	São Lourenço	4,70		4,70	4,70	4,70	
Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul	Jaguari-Atibainha	5,00	5,00	11,00	10,00	11,50	5,00
	Guararema-Biritiba				4,00	4,00	5,00
Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá	Barragem Jundiuvira						
	Barragem Campo Limpo						
	Barragem Pirai					1,33	
	Barragem Duas Pontes						
	Barragem Pedreira						
	Barragem Capivari Mirim					0,32	
Bacias do Médio Tietê (Sorocaba, Sarapuí) e Alto Paranapanema	Jurumirim-Sorocaba		5,00				6,50
	Sarapuí-Sorocaba	2,00	4,00	4,00	2,00		4,00
Total		18,80	18,90	21,90	20,70	21,85	20,50

Tabela 3: Transposição de vazões para a macrometrópole de São Paulo

Vale ressaltar que para compreensão das características dos arranjos deverá ser consultado o estudo da Cobrape em sua versão final⁴.

⁴ Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista – Janeiro 2010.

3 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Com a finalidade de se obter insumos para analisar os impactos de novas transposições de vazão, foram elaborados estudos hidrológicos que possibilitaram gerar séries de vazões afluentes a cada um dos pontos de interesse ao estudo e foram compostos por períodos comuns consistentes nos postos selecionados na bacia, por seu histórico e pela qualidade de seus dados.

Nesse momento foram desenvolvidas as seguintes atividades:

1. Análise de consistência das séries e seleção dos postos;
2. Avaliação das curvas-chave e curvas de permanência;
3. Preenchimento de falhas;
4. Estudos de regionalização de vazões; e
5. Estudos estatísticos e avaliação dos cenários e riscos de não atendimento.

Realizada a análise de consistência dos dados disponíveis, algumas das séries de vazões médias mensais geradas pela ANA foram descartadas, outras refeitas e as demais, adotadas para a continuação do presente estudo. As estações selecionadas são apresentadas na Tabela 4 e Figura 4.

Estação		Coordenadas		AD (km²)
Código	Nome	Latitude	Longitude	
58099000	Santa Branca	-23:22:08	-45:54:08	4.935
58105000	Guararema	-23:24:55	-46:01:30	5.201
58152000	Caçapava	-23:04:45	-45:42:40	8.342
58183000	Pindamonhangaba	-22:54:40	-45:28:13	9.576
58204000	Guaratinguetá	-22:48:43	-45:10:57	10.810
58218000	Cachoeira Paulista	-22:39:42	-45:00:45	11.481
58230000	Cruzeiro	-22:35:21	-44:57:21	12.155
58235000	Queluz	-22:32:24	-44:46:26	12.749
58242000	Itatiaia	-22:30:01	-44:33:17	13.494
58250000	Resende	-22:28:00	-44:26:43	13.882
58300000	Barra Mansa	-22:32:18	-44:10:32	15.742
58321000	Barra do Pirai	-22:26:58	-43:47:56	17.639
58630002	Anta	-22:02:07	-42:59:27	30.579
58795000	Três Irmãos	-21:37:33	-41:59:07	43.118
58880001	São Fidélis	-21:38:43	-41:45:08	46.731
58974000	Campos - Ponte Municipal	-21:45:12	-41:18:01	55.500

Tabela 4: Estações selecionadas para o estudo hidrológico.

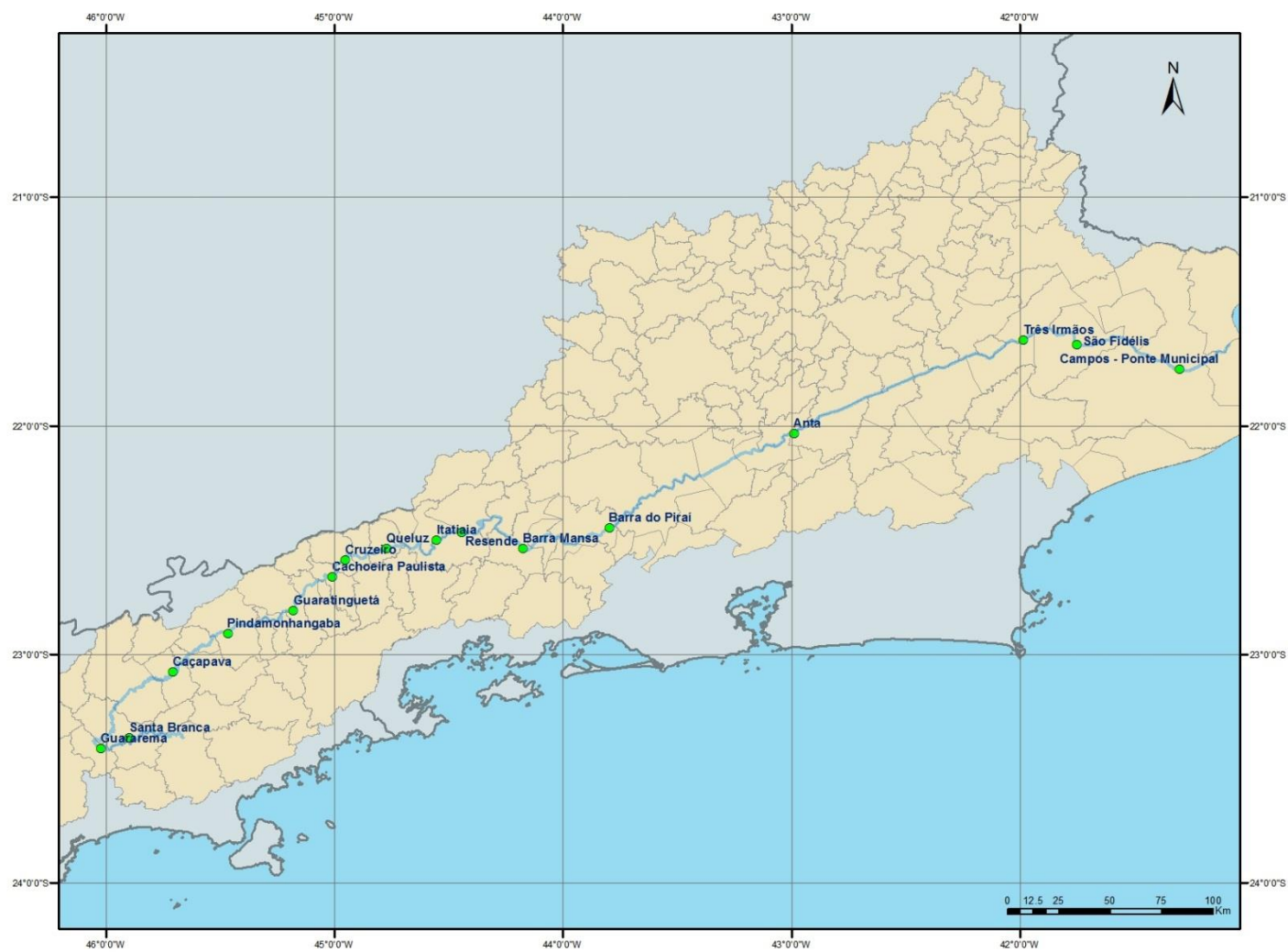


Figura 4: Mapa da localização das estações selecionadas

Sendo assim, foram traçadas as curvas de permanência das séries originais da ANA. As séries de vazões obtidas para os postos selecionados para a avaliação das transposições permitiu a análise do histórico de dados onde foi possível definir os períodos hidrológicos mais críticos de vazões mínimas que deveriam ser simulados com o modelo de qualidade da água. As curvas de permanência são apresentadas a seguir.

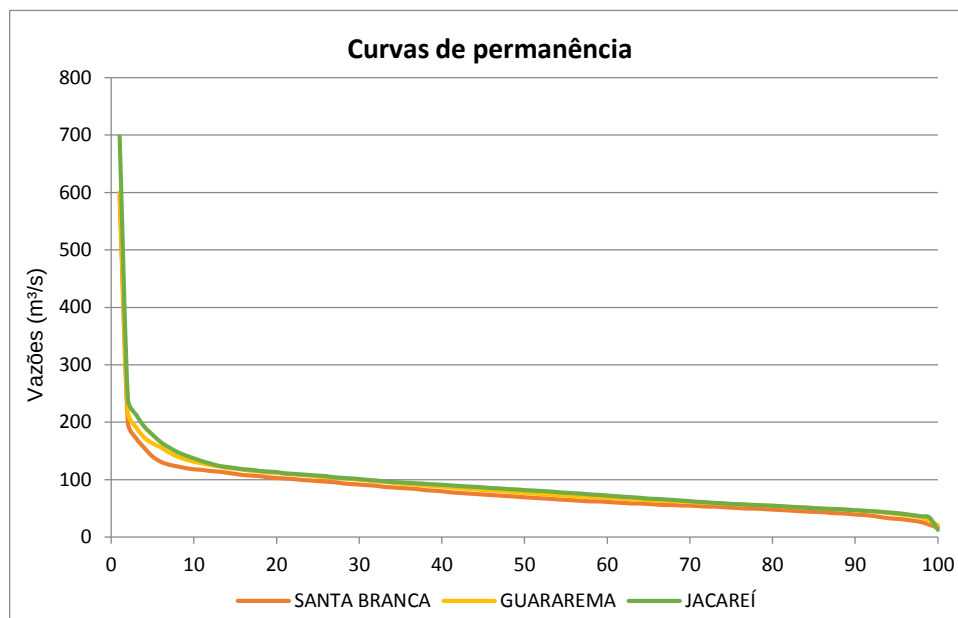


Figura 5: Curvas de Permanência – Estações Santa Branca, Guararema e Jacaré (1948 a 1970)

Perm. (%)	Santa Branca (58099000)	Guararema (58105000)	Jacaré (58110000)
	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)
100	16,5	20,7	12,5
95	31,8	39,9	41,7
90	39,3	46,4	46,7
85	43,8	50,4	50,2
80	47,9	54,1	54,5
75	51,3	57,2	57,6
70	54,9	60,7	62,5
65	57,6	64,0	66,9
60	61,2	68,2	72,3
55	64,8	72,0	77,1
50	69,3	76,8	81,7
45	74,1	81,7	86,5
40	79,8	87,7	91,0
35	85,5	93,0	95,1
30	91,4	99,6	101,0
25	97,5	105,0	107,0
20	103,0	112,0	113,0
15	110,0	119,0	120,0
10	118,0	131,0	137,0
5	140,0	163,0	178,0
1	595,0	601,0	698,0

Tabela 5: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações de Santa Branca, Guararema e Jacaraí no período de 1948 a 1970

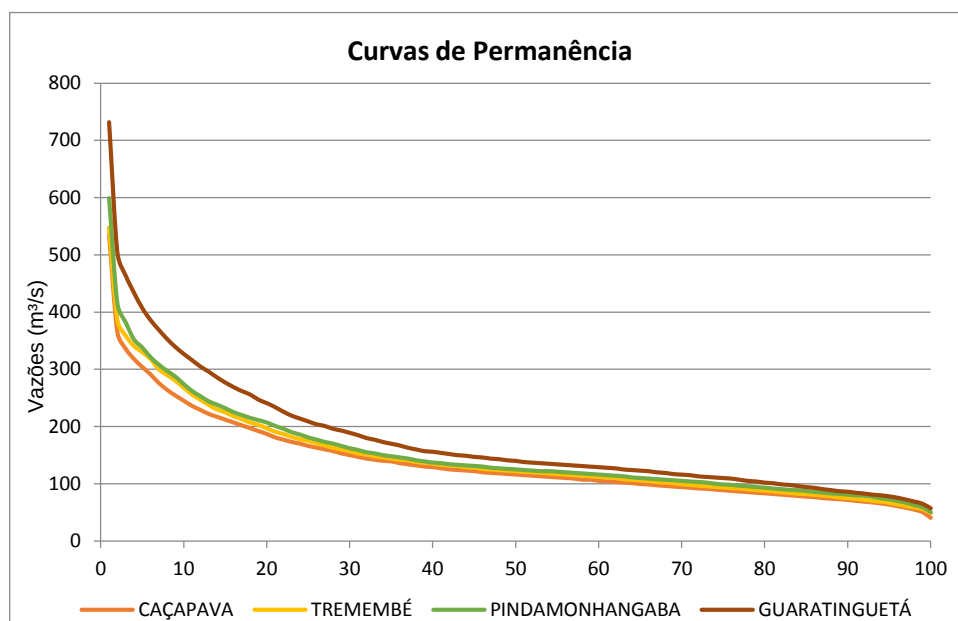


Figura 6: Curvas de Permanência – Estações Caçapava, Tremembé, Pindamonhangaba e Guaratinguetá (1948 a 1970)

Perm. (%)	Caçapava (58152000)	Tremembé (58158000)	Pindamonhangaba (58183000)	Guaratinguetá (58204000)
	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)
100	40,2	48,8	50,4	57,2
95	63,4	66,6	72,7	78,0
90	71,6	74,9	80,9	86,1
85	77,4	82,0	87,2	94,2
80	83,2	88,1	93,2	102,0
75	88,6	93,7	98,7	110,0
70	94,1	99,2	105,0	116,0
65	99,5	106,0	110,0	123,0
60	105,0	112,0	116,0	129,0
55	111,0	117,0	121,0	134,0
50	116,0	122,0	125,0	140,0
45	122,0	128,0	131,0	147,0
40	129,0	135,0	137,0	156,0
35	139,0	144,0	148,0	170,0
30	150,0	157,0	162,0	189,0
25	166,0	175,0	181,0	209,0
20	187,0	197,0	207,0	241,0
15	212,0	225,0	232,0	277,0
10	245,0	268,0	274,0	327,0
5	304,0	330,0	338,0	407,0
1	535,0	548,0	599,0	732,0

Tabela 6: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Caçapava, Tremembé, Pindamonhangaba e Guaratinguetá (1948 a 1970)

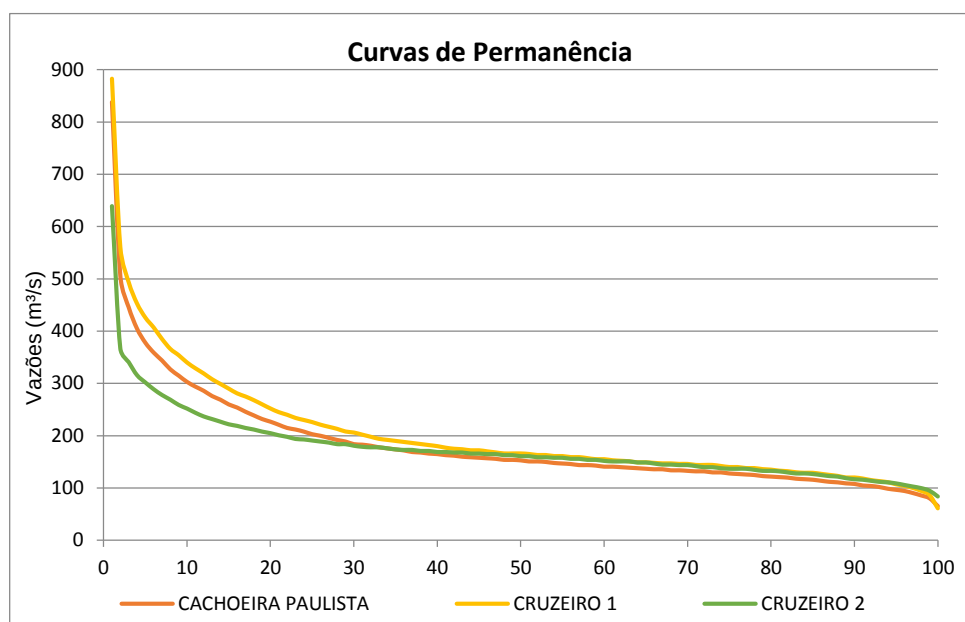


Figura 7: Curvas de Permanência – Estações Cachoeira Paulista, Cruzeiro 1 e Cruzeiro 2 (1958 a 1980)

Perm (%)	Cachoeira Paulista 58218000)	Cruzeiro 1 (58230000)	Cruzeiro 2 (58230200)
	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)
100	65,6	61,0	84,0
95	96,7	107,0	109,0
90	108,0	120,0	117,0
85	116,0	129,0	127,0
80	122,0	135,0	133,0
75	128,0	140,0	137,0
70	133,0	146,0	144,0
65	137,0	149,0	149,0
60	141,0	155,0	152,0
55	147,0	161,0	158,0
50	153,0	166,0	161,0
45	158,0	172,0	166,0
40	165,0	180,0	169,0
35	174,0	190,0	174,0
30	184,0	206,0	181,0
25	203,0	226,0	191,0
20	227,0	252,0	205,0
15	260,0	290,0	222,0
10	303,0	340,0	252,0
5	378,0	426,0	302,0
1	838,0	883,0	639,0

Tabela 7: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Cachoeira Paulista, Cruzeiro 1 e Cruzeiro 2 (1958 a 1980)

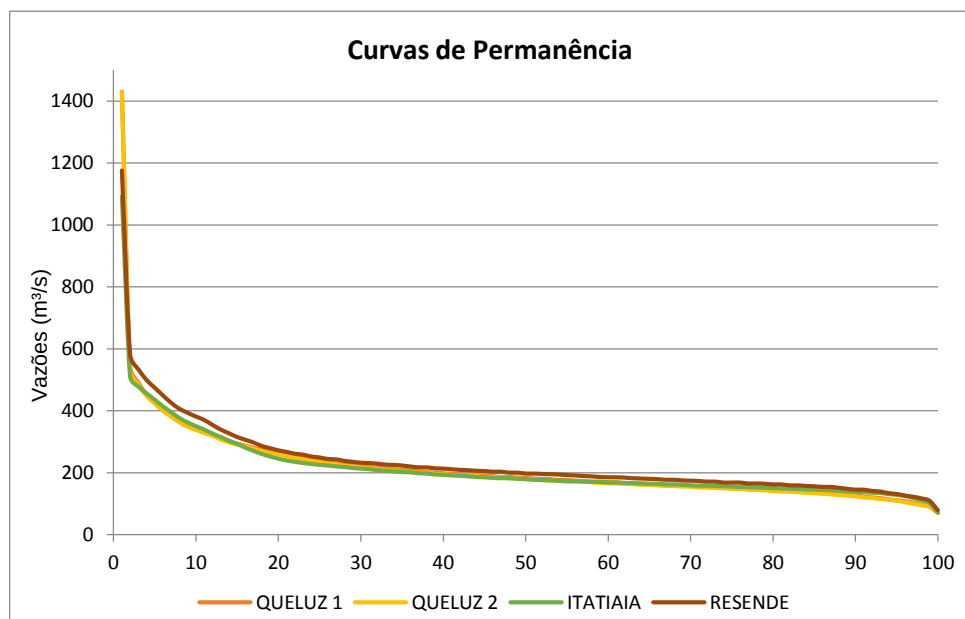


Figura 8: Curvas de Permanência – Estações Queluz 1, Queluz 2, Itatiaia e Resende (1956 a 2005)

Perm. (%)	Queluz 1 (58235000)	Queluz 2 (58235100)	Itatiaia (58242000)	Resende (58250000)
	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)
100	70,8	70,8	70,7	79,0
95	111,0	109,0	128,0	131,0
90	126,0	124,0	138,0	145,0
85	135,0	134,0	145,0	156,0
80	143,0	141,0	150,0	162,0
75	150,0	148,0	155,0	168,0
70	157,0	155,0	159,0	174,0
65	164,0	161,0	164,0	180,0
60	169,0	166,0	168,0	185,0
55	176,0	171,0	173,0	192,0
50	183,0	179,0	179,0	197,0
45	190,0	186,0	185,0	205,0
40	198,0	195,0	193,0	213,0
35	209,0	204,0	202,0	223,0
30	221,0	217,0	213,0	232,0
25	238,0	234,0	225,0	249,0
20	261,0	259,0	245,0	272,0
15	293,0	290,0	293,0	315,0
10	341,0	338,0	350,0	381,0
5	424,0	424,0	435,0	474,0
1	1430,0	1430,0	1092,0	1176,0

Tabela 8: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Queluz 1, Queluz 2, Itatiaia e Resende (1956 a 2005)

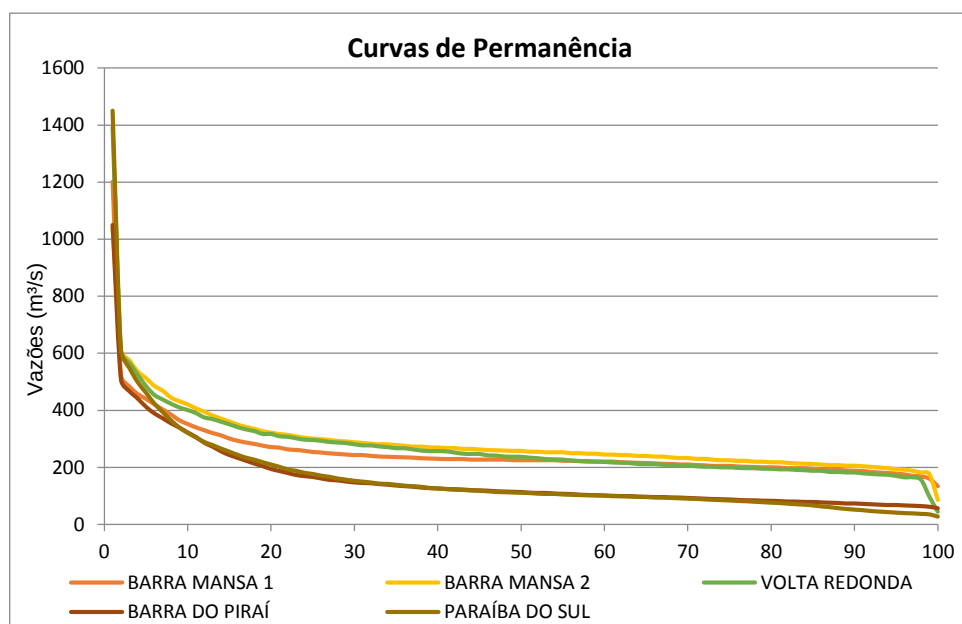


Figura 9: Curvas de Permanência – Estações Barra Mansa 1, Barra Mansa 2, Volta Redonda, Barra do Pirai e Paraíba do Sul (1973 a 1995)

Perm. (%)	Barra Mansa 1 (58300000)	Barra Mansa 2 (58300001)	Volta Redonda (58305001)	Barra do Pirai (58321000)	Paraíba do Sul (58380001)
	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)
100	134,0	86,0	44,2	57,4	27,6
95	178,0	194,0	170,0	68,7	41,5
90	188,0	206,0	182,0	74,1	52,0
85	195,0	212,0	188,0	79,4	66,8
80	200,0	218,0	195,0	83,5	76,4
75	205,0	225,0	200,0	88,1	84,1
70	210,0	233,0	206,0	93,5	90,4
65	215,0	240,0	211,0	97,7	96,0
60	220,0	245,0	219,0	102,0	101,0
55	223,0	253,0	227,0	108,0	105,0
50	225,0	258,0	237,0	114,0	111,0
45	227,0	263,0	247,0	120,0	118,0
40	230,0	270,0	257,0	127,0	126,0
35	236,0	278,0	267,0	137,0	139,0
30	243,0	288,0	281,0	148,0	153,0
25	254,0	301,0	296,0	167,0	177,0
20	271,0	322,0	317,0	195,0	210,0
15	301,0	361,0	351,0	244,0	255,0
10	352,0	421,0	401,0	323,0	321,0
5	440,0	513,0	485,0	413,0	462,0
1	1201,0	1040,0	1392,0	1050,0	1450,0

Tabela 9: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Barra Mansa 1, Barra Mansa 2, Volta Redonda, Barra do Pirai e Paraíba do Sul (1973 a 1995)

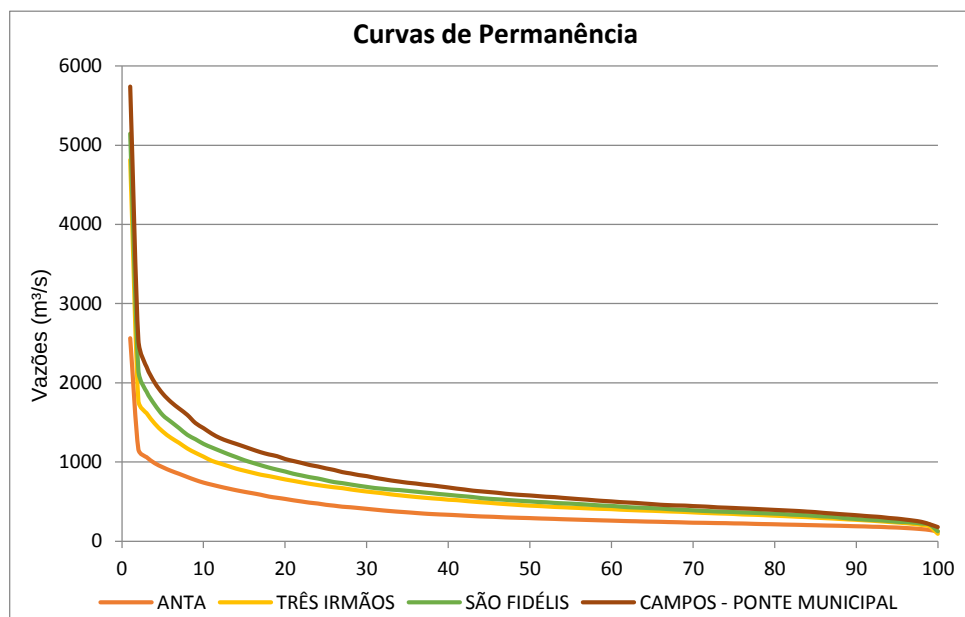


Figura 10: Curvas de Permanência – Estações Anta, Três Irmãos, São Fidélis e Campos – Ponte Municipal (1980 a 2002)

Perm. (%)	Anta (58630002)	Três Irmãos 58795000)	São Fidélis (58880001)	Campos - Ponte Municipal (58974000)
	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)
100	122,0	93,4	124,0	179,0
95	173,0	236,0	244,0	286,0
90	189,0	270,0	279,0	329,0
85	202,0	298,0	318,0	368,0
80	214,0	322,0	346,0	396,0
75	225,0	344,0	366,0	420,0
70	234,0	364,0	388,0	444,0
65	247,0	384,0	415,0	469,0
60	260,0	405,0	444,0	503,0
55	275,0	424,0	473,0	540,0
50	292,0	449,0	502,0	578,0
45	310,0	485,0	534,0	621,0
40	334,0	524,0	584,0	679,0
35	365,0	569,0	634,0	739,0
30	409,0	627,0	684,0	822,0
25	460,0	694,0	767,0	920,0
20	534,0	780,0	878,0	1038,0
15	624,0	890,0	1021,0	1194,0
10	740,0	1067,0	1227,0	1427,0
5	934,0	1384,0	1590,0	1862,0
1	2564,0	4815,0	5146,0	5739,0

Tabela 10: Tabela resumo das vazões de permanência nas estações Anta, Três Irmãos, São Fidélis e Campos – Ponte Municipal (1980 a 2002)

4 ESTUDOS DE DEMANDAS DE USOS

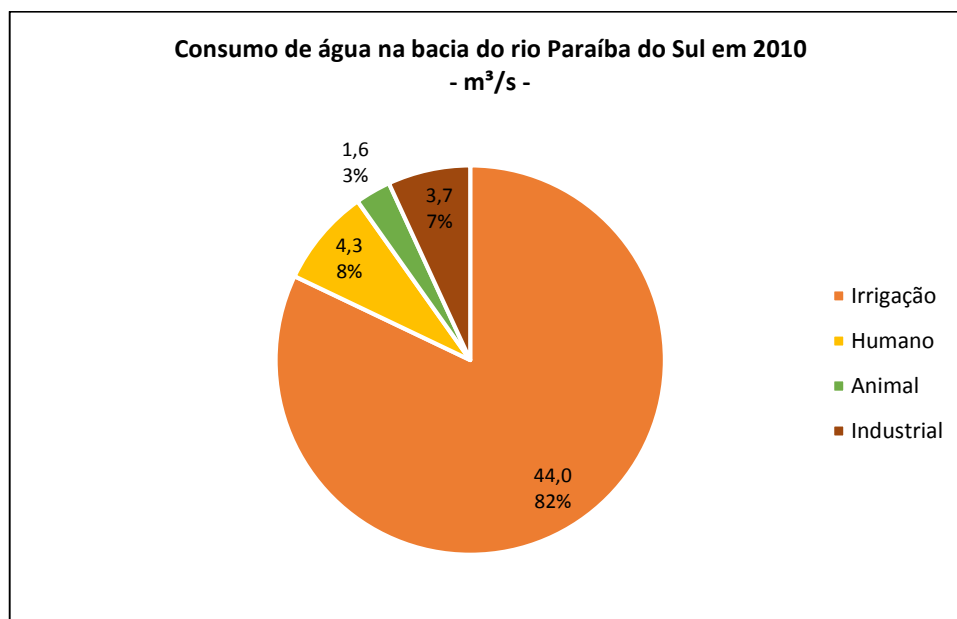
Com a finalidade de se estimar a vazão necessária a ser garantida para consumo de todos os municípios da bacia do rio Paraíba do Sul, foram realizadas também projeções para os anos de 2025 e 2035. Sendo assim, o relatório de Demandas de Usos, com os resultados obtidos para o ano atual (2010), e anos futuros (2025 e 2035) permite a elaboração de dados para realizar as avaliações dos impactos de Novas Transposições de Vazões no rio Paraíba do Sul permitindo o conhecimento sobre o estado atual das vazões de consumo para os usos de água nesta bacia e elaboração de cenários de evolução destes, em diferentes horizontes de tempo, em diversos trechos ao longo da bacia hidrográfica.

Para elaboração das estimativas das vazões de consumo para os usos consuntivos, foram utilizados dados oficiais, principalmente obtidos de instituições federais e estaduais. Além disso, foram consultadas também publicações e estudos de instituições conceituadas. As informações são provenientes de:

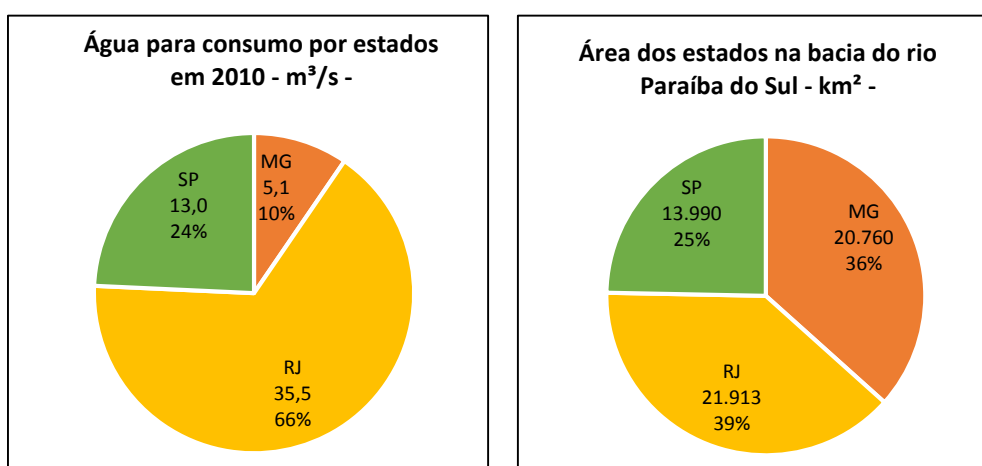
- Censos Populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nos anos de 1991, 2000, 2010;
- Censos Agropecuários do IBGE nos anos de 1996 e 2006;
- Pesquisas Pecuária Municipal do IBGE nos anos de 1995, 2006 e 2010;
- Malha Municipal do IBGE no ano de 2010;
- Mapas de Solos Agrícolas, elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária no ano de 2006;
- Food and Agriculture Organization – FAO (United Nations);
- Outorgas de Uso da Água cadastradas pela ANA no período de 2007 a 2011;
- Banco de dados do Operador Nacional do Sistema;
- Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul, 2006.
- Plano da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul – UGRHI 02, 2009-2012, para os municípios pertencentes ao estado de São Paulo.

As vazões de consumo obtidas consideram apenas os usos consuntivos dos municípios pertencentes à bacia, no que consistem seus usos urbanos, rurais, industriais e para fins de irrigação. Em outras palavras, não foram consideradas vazões de transposições já existentes, ou seja, captações para municípios externos à bacia, salvo os municípios da baixada norte-fluminense, como: Carapebus, Conceição de Macabu, Macaé e Quissamã (sistemas de canais de Macaé-Campos).

Apresentam-se em forma de Anexos os resultados das vazões obtidas para cada tipo de uso, considerando os dados de cada município. A vazão média de consumo para usos consuntivos na bacia do rio Paraíba do Sul é de cerca de 54 m³/s considerando as informações obtidas no cenário C, de acordo com a metodologia. Este valor de vazão de consumo equivale a somente 5% da Vazão Média de Longo Termo (QMLT) na foz do rio, de acordo com o Plano de Recursos Hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul. Em termos globais, os principais usos na bacia em 2010 são: abastecimento humano urbano e rural (8%), dessedentação animal (3%), irrigação (82%) e industrial (7%), conforme mostra gráfico a seguir.



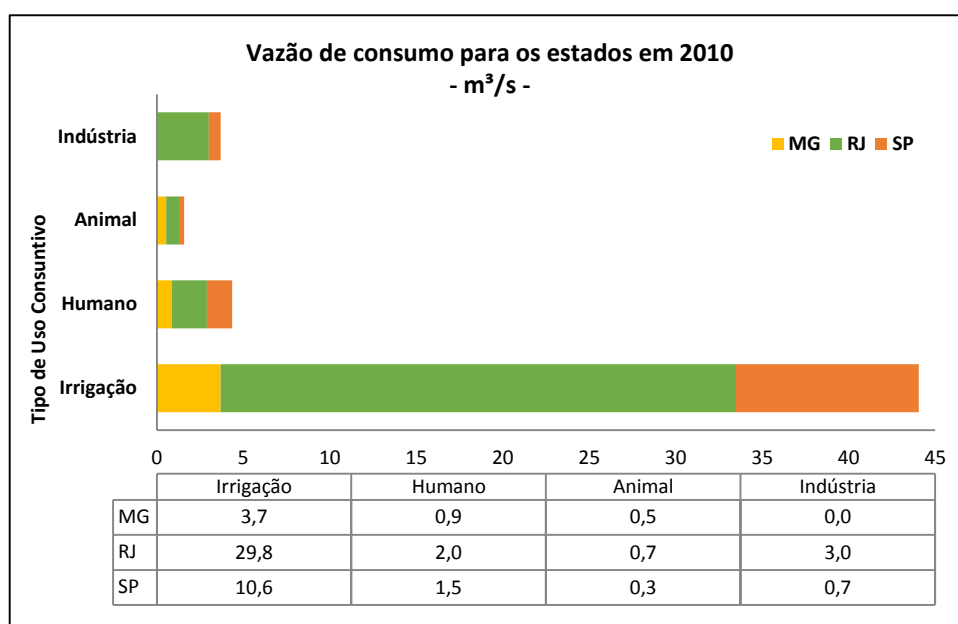
De forma a melhor visualizar os usos consuntivos na bacia do rio Paraíba do Sul apresenta-se a participação estadual dos municípios pertencentes à bacia e suas vazões de demandas.



Os gráficos anteriores permitem visualizar a relevância do rio Paraíba do Sul para o estado do Rio de Janeiro, uma vez que a respectiva vazão de consumo para uso é de 35.5 m³/s, ou seja, dois terços da utilizada pelos estados de São Paulo (24%) e Minas Gerais (10%). Isso se deve ao fato da demografia, que, em relação à configuração geográfica da região, implica na necessidade de fornecimento para o estado fluminense principalmente pelo rio Paraíba do Sul.

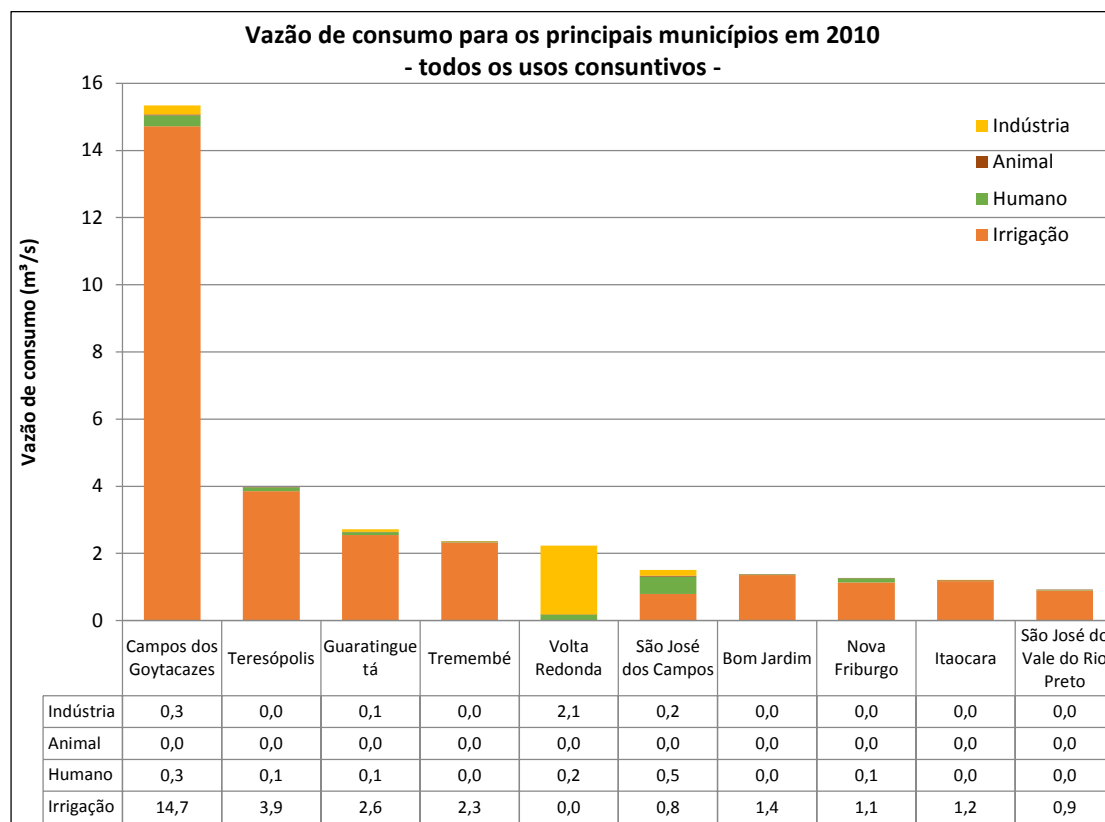
A seguir apresenta-se a vazão de consumo para os tipos de uso consuntivo para o cenário atual. Conforme exposto anteriormente, o maior consumo de água é exigido para irrigação, onde o Rio de Janeiro possui maior participação. Para consumo industrial, percebe-se que Minas Gerais não utiliza a água do rio Paraíba do Sul de acordo com os dados informados e São Paulo tem uma participação modesta se comparada à do Rio de Janeiro. Vale ressaltar que o consumo de água para fins de atendimento humano é considerável para os municípios de São Paulo e Rio

de Janeiro, quando analisadas suas densidades demográficas, onde apesar da bacia do Paraíba do Sul ter uma distribuição quase-uniforme, estes dois estados possuem grandes cidades e consequentes populações urbanas instaladas na área de drenagem, principalmente no eixo da via Dutra. No que consiste ao atendimento animal, o maior consumidor de água é o estado do Rio de Janeiro, tendo em vista à quantidade de exemplares bovinos que demandam uma grande quantidade de água.



Quando relacionados todos os municípios pertencentes⁵ à bacia do rio Paraíba do Sul (são 188 ao todo), 10 respondem por mais de 50% de consumo de água para fins de atendimento humano ou irrigação. Destes, Campos dos Goytacazes, Teresópolis, Guaratinguetá, Tremembé, Volta Redonda, São José dos Campos, Bom Jardim, Nova Friburgo, Itaocara e São José do Vale do Rio Preto são os mais relevantes.

⁵ Aqueles municípios que contribuem (mesmo que parcialmente) para a área de drenagem do rio Paraíba do Sul.

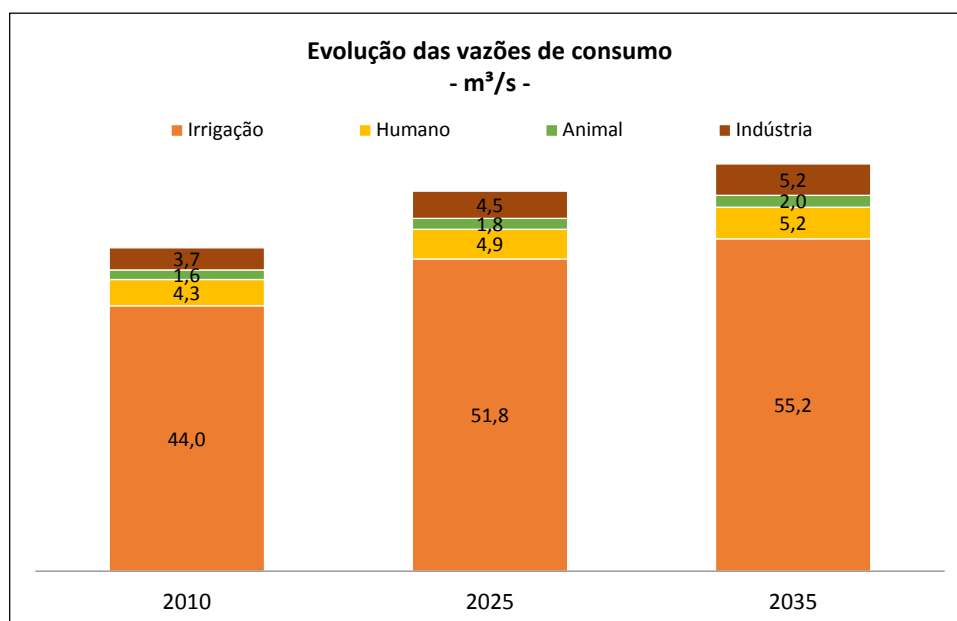


Para as projeções, analisou-se a melhor metodologia para estimar as populações responsáveis pelo consumo, a saber: urbana, rural e animal. Para consumo industrial, foi utilizada a mesma tendência estimada pela ONS de forma a obter as taxas de incremento para os anos de 2025 e 2035. Para irrigação, utilizou-se da projeção referente ao cenário C, que consiste na relação entre a área relativa à expansão de irrigação (dados do Censo Agropecuário do IBGE em 2006) possui um valor informado menor do que o estabelecido no PRH do Paraíba do Sul, 2006. Sendo assim, o limite para irrigação seria a recuperação do valor de área informado no Plano. Estes são respectivamente para 2025 e 2035 de 19% e 39%.

As projeções realizadas resultaram em novos dados, sendo estes submetidos à metodologia empregada conforme descrito no ano atual. No que consiste ao atendimento urbano e rural, considerou-se o mesmo índice de cobertura da população atendida pela rede de saneamento.

Vale ressaltar que os resultados obtidos para cálculo das vazões de consumo do tipos de uso consuntivo estão de acordo com a metodologia disponível, principalmente obtida do ONS/ANA, onde os valores obtidos são estimativos, tendo em vista a confiabilidade e/ou precisão dos dados obtidos. Cita-se como exemplo a irrigação, cujos dados obtidos pelo Censo Agropecuário 2006, IBGE, possui informações pouco precisas e agrupadas de forma muito abrangente. Para o consumo industrial, os dados foram obtidos pelas Outorgas de Uso da Água, fornecida pela Agência Nacional de Águas (ANA), cuja vazão de consumo representa apenas 20% da vazão captada (conforme metodologia da ONS).

Apresenta-se a seguir o gráfico que permite a compreensão da evolução das vazões de consumo para todos os municípios da bacia do rio Paraíba do Sul



Os valores totais das vazões de consumo para os diferentes anos são aproximadamente:

- 2010: vazão de consumo = 54 m³/s
- 2025: vazão de consumo = 60 m³/s
- 2035: vazão de consumo = 65 m³/s

Quanto a isso, a vazão obtida para usos consuntivos, conforme apresentada no R4 – Demandas de Uso, foi utilizada para as simulações da modelagem hidrológica-hidráulica, sendo então incluído no histórico dos anos mais críticos.

Para o estudo de modelagem, conforme exposto a seguir, associou-se os diversos anos de demandas do uso da água para os três trechos críticos do rio Paraíba do Sul, no tocante a vazões de estiagem, sendo estes:

- Trecho paulista na região do município de Jacareí;
- Trecho a montante e jusante da captação na barragem de Santa Cecília;
- Trecho do baixo rio Paraíba do Sul próximo à cidade de Campos.

5 ESTUDOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Com intuito de se obter insumos para analisar os impactos de novas transposições de vazão, a compilação dos dados de qualidade da água do Rio Paraíba do Sul e seus principais afluentes na região de interesse, foi realizada para dois propósitos distintos: a primeira onde os dados serão condições iniciais para um modelo de qualidade da água do rio e dos reservatórios, e a segunda como condição de contorno do mesmo modelo. Vale ressaltar que tendo em vista a possibilidade de imprecisões no modelo, foi realizada também uma avaliação da consistência dos dados de qualidade da água para se eliminar eventuais inconsistências.

O quadro é grave quando se considera a qualidade da água nas situações mais críticas. No cenário atual, apresentado no primeiro relatório de avaliação da qualidade da água, é evidenciado o problema para vazões de estiagem, desconsiderando a transposição paulista prevista utilizando-se a água do rio Paraíba do Sul. Em trechos de rio a jusante da UHE Funil, já foi verificada amostragens que apontam essa criticidade.

Foram fornecidos dados que permitiram doze simulações hidrodinâmicas, ilustrando o efeito da diminuição da vazão no campo de velocidades do Rio Paraíba do Sul. As doze simulações são resultados dos três trechos selecionados como críticos do rio Paraíba do Sul juntamente com as quatro simulações para vazão:

- Vazão média de longo termo,
- Vazão média mensal mínima,
- Vazão mínima do histórico em 2010,
- Vazão mínima do histórico simulado para 2035 com implantação da Transposição de Vazão representada pela alternativa 10 (ou seja, a que retira a maior vazão do rio Paraíba do Sul, sendo esta de 15,5 m³/s).

Os trechos selecionados como críticos para o rio Paraíba do Sul são:

- São Paulo: Jacareí – São José dos Campos;
- Rio de Janeiro: Santa Cecília – Barra do Piraí; e
- Rio de Janeiro: Campos dos Goytacazes.

As vazões usadas para cada trecho se encontram na Tabela 11 abaixo.

Trecho	Vazão média (m ³ /s)	Vazão mínima média mensal (m ³ /s)	Vazão mínima 2010 (m ³ /s)	Vazão mínima 2035 alternativa A10 (m ³ /s)
Jacareí/S.J. Campos, SP	87	66	38	31
Santa Cecília, B. Piraí, RJ	153	115	75	51
Campos, RJ	792	273	178	165

Tabela 11: Vazões utilizadas para a modelagem de qualidade da água e hidrodinâmica nos trechos selecionados

No caso de São José dos Campos, as Figura 11 e Figura 12 mostram as velocidades para vazão mínima simulada sem transposição em 2010 e com Transposição de Vazão sugerida pela alternativa #10 no cenário de 2035 (ou seja, para o pior cenário).

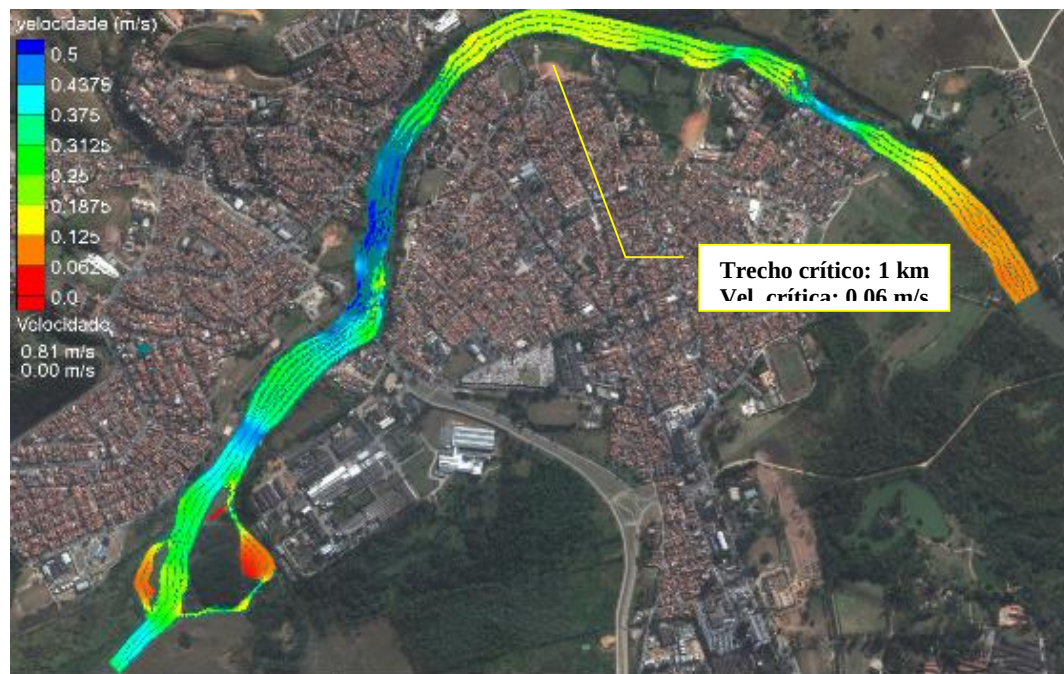


Figura 11: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 38 m³/s simulado para 2010 sem transposição.

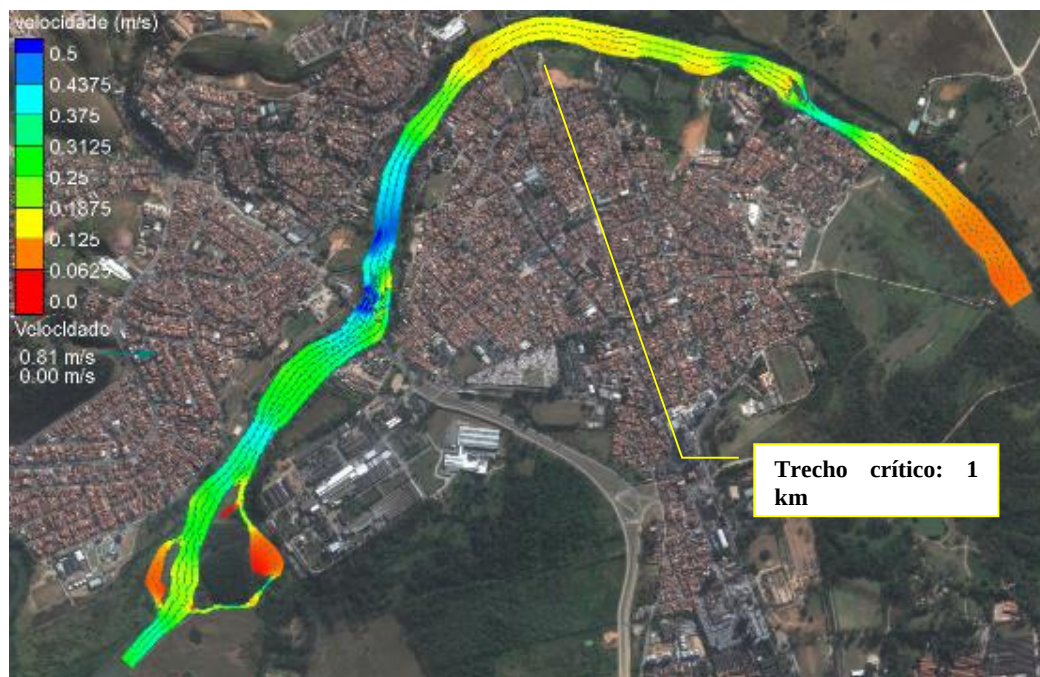


Figura 12: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 31 m³/s simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior caso).

Note que quanto menor a vazão há tendência de diminuir as velocidades, e que em alguns pontos de estagnação tais velocidades podem atingir valor críticos perto de zero. O impacto da transposição em si no campo de velocidades, deve ser medido pelas diferenças entre as Figura 11 e Figura 12, e tais impactos são relativamente pequenos, com redução entre 0 e 25% nas velocidades. Este trecho é o que sofre o maior impacto dentre os 3 simulados.

O modelo não detalha o suficiente as margens, mas certamente, podem ocorrer em pontos específicos velocidades ainda menores, o que pode levar a uma situação de boom de algas, em função das condições meteorológicas e de concentração de nutrientes existentes nesses trechos e que preocupam a AGEVAP.

Ressalta-se, entretanto, que as transposições teriam um impacto nas velocidades, mas eventuais problemas de eutrofização deverão ocorrer com ou sem transposição se a vazão chegar a valores iguais aos mínimos aqui simulados.

Sendo assim, os impactos na qualidade da água averiguados são relevantes para os casos de ocorrência de vazões mínimas em todos os trechos estudados, concluindo que:

- A ocorrência de vazões extremas e baixas em todos os trechos estudados pode acarretar em situações desfavoráveis de qualidade da água, condições de eutrofização ou surgimento de algas;
- As condições encontradas para as vazões simuladas com os cenários com e sem a transposição de vazões mostram situações indesejáveis para qualidade da água;
- Para maior acuracidade dos resultados e definição dos pontos mais críticos nessas localidades selecionadas como mais relevantes, é necessário investir em novos levantamentos de seções topobatimétricas e aferição de parâmetros de qualidade da água nesses trechos em situações de vazões baixas;
- A aprovação de novas transposições só deve piorar as condições de qualidade da água nesses trechos, e só um pesado investimento em saneamento básico e tratamento de efluentes poderá mudar o prognóstico.

6 ESTUDOS DE MODELAGEM HIDROLÓGICA – HIDRÁULICA

O estudo de modelagem hidrológico-hidráulica permitiu a análise da disponibilidade hídrica de forma quantitativa e qualitativa além da geração de energia uma vez modelados os projetos de transposições de vazões previstos em conjunto com a demanda de uso consuntivo para os cenários de 2025 e 2035.

Com os resultados do modelo, foram definidas as vazões operadas pelo conjunto de reservatórios e captações para que se fosse possível avaliar as condições de circulação de água nos três pontos mais críticos, levantados pelas referências e do monitoramento da qualidade da água nos diversos trechos do rio, sendo estes:

- Trecho paulista na região do município de Jacareí;
- Trecho a montante e jusante da captação na barragem de Santa Cecília;
- Trecho do baixo rio Paraíba do Sul próximo à cidade de Campos.

A topologia adotada é representada da seguinte forma:

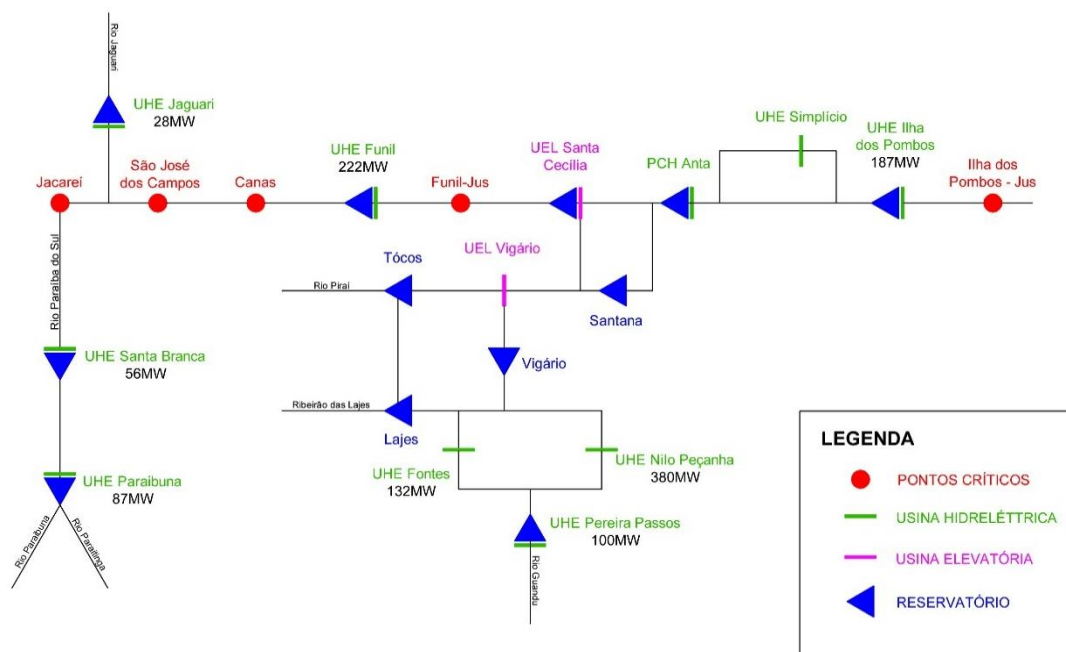


Figura 13: Limites de capacidade dos arcos

A seguir apresentam-se as tabelas resumos das vazões de permanência para os trechos críticos identificados, sendo estes:

- Trecho paulista junto ao município de Jacareí
- Trecho junto à captação de Santa Branca
- Trecho junto ao município de Campos

Perm. (%)	A0			A7			A10		
	2010	2025	2035	2010	2025	2035	2010	2025	2035
90	61,16	56,50	52,55	57,62	51,89	50,98	45,12	42,86	42,77
91	56,91	53,92	50,35	54,72	50,96	49,33	43,40	41,77	41,68
92	55,53	52,11	48,55	52,46	49,32	48,05	42,12	40,76	40,67
93	51,91	49,12	46,33	50,74	47,75	47,04	41,08	40,44	40,35
94	48,08	47,30	44,69	49,13	47,25	46,59	40,09	39,64	39,54
95	46,10	45,18	43,94	47,70	46,22	45,26	39,11	38,64	38,54
96	44,75	43,72	42,43	45,71	45,28	44,75	38,54	37,46	37,36
97	43,04	42,64	42,21	45,64	44,79	44,16	37,54	36,86	36,77
98	42,64	41,92	40,92	44,61	43,33	42,98	36,03	35,74	35,64
99	41,10	40,26	39,37	42,82	41,96	41,26	34,36	34,14	34,05
100	35,12	34,94	34,75	36,89	36,78	36,70	29,17	28,62	28,52

Tabela 12: Trecho Paulista junto ao município de Jacareí

Perm. (%)	A0			A7			A10		
	2010	2025	2035	2010	2025	2035	2010	2025	2035
90	232,00	229,74	225,45	231,93	227,06	222,17	219,13	215,01	212,14
91	228,54	225,23	220,80	227,77	221,90	218,40	215,03	211,37	208,31
92	226,24	221,21	216,63	223,09	217,01	211,56	208,38	206,92	202,54
93	222,72	217,33	212,16	219,58	211,68	206,83	200,02	197,01	186,75
94	216,83	210,25	204,41	212,69	203,36	197,87	192,85	181,08	179,81
95	211,52	204,74	198,56	206,81	197,62	191,24	181,23	174,04	168,72
96	199,47	187,43	186,91	189,96	189,43	184,02	177,79	170,94	164,49
97	187,23	187,02	182,29	189,64	184,84	179,03	172,51	164,90	158,98
98	175,02	168,67	158,61	171,78	161,56	156,16	152,55	139,34	128,61
99	152,41	142,75	137,05	145,92	139,94	134,33	132,94	120,44	97,34
100	72,50	67,98	63,70	69,89	65,37	61,17	57,08	52,57	48,28

Tabela 13: Trecho junto à captação em Santa Cecília

Perm. (%)	A0			A7			A10		
	2010	2025	2035	2010	2025	2035	2010	2025	2035
90	377,27	379,23	375,47	376,49	377,81	373,80	373,75	371,04	367,76
91	371,90	370,65	365,67	369,16	368,76	364,21	365,71	366,28	360,29
92	366,18	367,65	362,95	365,57	365,71	361,49	361,58	361,64	355,81
93	362,53	361,94	358,69	359,12	358,58	354,42	353,22	354,75	349,38
94	352,59	352,56	348,52	350,73	349,13	345,15	345,66	345,98	341,94
95	343,26	344,28	337,59	341,80	340,36	335,89	336,25	332,56	326,36
96	330,60	333,52	326,19	330,60	328,46	324,57	324,58	320,88	314,74
97	319,56	319,04	314,14	315,26	317,23	312,08	309,58	310,26	304,00
98	308,11	309,30	300,70	307,10	303,18	296,50	298,81	296,51	289,86
99	287,20	287,80	278,94	284,49	282,39	275,57	275,53	275,28	268,45
100	175,76	175,91	170,03	171,85	172,34	167,49	166,06	167,65	162,29

Tabela 14: Trecho junto ao município de Campos

Do ponto de vista quantitativo, ou seja, no que concerne a vazão apenas, pode-se concluir que as diferenças encontradas para a situação atual (e futura) não se afiguram como muito elevadas, mesmo considerando os cenários mais severos de retirada de água para atender outras bacias.

Se considerarmos a existência de condições hidrológicas adversas, a vazão de restrição passa ser 190 m³/s (119 m³/s para bombeamento de Santa Cecília e 71 m³/s defluente do rio Paraíba do Sul). Nesta situação, avaliando o cenário de 2010, no que consiste ao trecho junto à captação em Santa Cecília, percebe-se que a vazão de restrição é garantida em 96% do tempo para a

situação atual (alternativa A0) e em 94% para o arranjo 10 (alternativa A10). Já no cenário de 2035 a vazão de restrição é garantida em 95% do tempo para a situação atual (alternativa A0) e em 92% para o arranjo 10 (alternativa A10).

No que consiste ao trecho junto à captação em Santa Cecília, percebe-se uma diferença importante entre o cenário atual (alternativa A0) e a da transposição com o Arranjo 10 (alternativa A10) sendo esta aproximadamente de 30 m³/s para uma permanência de 95% e 15 m³/s para uma permanência de 100%.

Cenário	Alternativa	Vazão de Permanência (m ³ /s)		Diferença de Vazão (m ³ /s)	
		95%	100%	Dif:95%	Dif:100%
2010	A0	211,52	72,50		
	A7	206,81	69,89	-4,71	-2,61
	A10	181,23	57,08	-30,29	-15,43
2025	A0	204,74	67,98		
	A7	197,62	65,37	-7,12	-2,61
	A10	174,04	52,57	-30,70	-15,42
2035	A0	198,56	63,70		
	A7	191,24	61,17	-7,32	-2,53
	A10	168,72	48,28	-29,84	-15,42

Tabela 15: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m³/s) – Trecho junto à captação em Santa Cecília

Como pode ser visto na Tabela 16, o trecho junto ao município de Campos, a diferença quantitativa entre a situação atual (alternativa A0) e o Arranjo 10 (alternativa A10) é de 11 m³/s para o cenário de 2035 e uma permanência de 95%, o que decresce para a 7 m³/s para uma permanência de 100% para o mesmo cenário. Cabe frisar que não foi analisado possível impacto a qualidade da água como o aumento da intrusão salina no rio Paraíba do Sul.

Cenário	Alternativa	Vazão de Permanência (m ³ /s)		Diferença de Vazão (m ³ /s)	
		95%	100%	Q _{95%}	Q _{100%}
2010	A0	343,26	175,76		
	A7	341,80	171,85	-1,46	-3,91
	A10	336,25	166,06	-7,01	-9,7
2025	A0	344,28	175,91		
	A7	340,36	172,34	-3,92	3,57
	A10	332,56	167,65	-11,52	-8,26
2035	A0	337,59	170,03		
	A7	335,89	167,49	-1,7	-2,54
	A10	326,36	162,29	-11,23	-7,74

Tabela 16: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m³/s) – Trecho junto ao município de Campos

As perdas energéticas, considerando apenas as usinas hidrelétricas acima de 30 MW, não são percentualmente muito grandes, podendo chegar a 4,2% na alternativa de maior demanda para as transposições, mas são significativas perdas de receita para os geradores da bacia e para os consumidores, pois num sistema interligado como o brasileiro haveria mais acionamento de usinas termoeletricas.

Entretanto, essas perdas energéticas representariam R\$ 20 milhões anuais de prejuízo para as geradoras com as usinas com potência maior que 30MW instaladas na bacia, sem levar em

conta as perdas pelo acionamento de térmicas e as perdas nas PCHs de Queluz, Lavrinhas e da futura usina de Itaocara.

CENÁRIO	Perda Energética - Totais Anuais					
	ARRANJOS					
	A0	A6&A7	A8	A9	A10	A11
2012	0,0%	1,2%	2,3%	2,8%	3,2%	2,0%
2025	0,5%	1,8%	2,9%	3,3%	3,6%	2,4%
2035	1,0%	2,4%	3,5%	3,8%	4,2%	2,9%

Tabela 17: Perda energética por transposição prevista

A Tabela 18 a seguir relaciona as vazões simuladas em comparação com as restrições estabelecidas para condições hidrológicas adversas. Pode-se notar um decréscimo importante para nas vazões mínimas (95% e 100%) considerando-se a retirada de vazões para atender a Macrometrópole de São Paulo, com valores menores do às restrições tanto para situação normal como para situação crítica. Pelo que se pode ver das alternativas para atendimento a São Paulo seria muito mais conveniente e estratégico não retirar água do Paraíba do Sul. Se considerarmos as ainda as avaliações da qualidade, mesmo qualitativas fica mais evidente ainda a importância de adotar essa estratégia de não retirar água do Paraíba do Sul, tanto pelo trecho paulista como no trecho fluminense.

Cenário	Alternativa	Vazão de restrição (m³/s)		Vazão de Permanência (m³/s)	
		Situação normal ⁶ (Qsn)	Situação crítica ⁷ (Qsc)	95%	100%
2010	A0	250	190	214,06	74,89
	A10	250	190	183,75	59,38
2025	A0	250	190	207,28	70,37
	A10	250	190	176,56	54,87
2035	A0	250	190	201,19	66,17
	A10	250	190	171,33	50,67

Tabela 18: Vazões de retirada simuladas e restrições de vazão estabelecidas em decreto.

⁶ Decreto no 68.324/71

⁷ Decreto no. 81.436/78, condições hidrológicas adversas

7 CONCLUSÕES

O uso múltiplo da água do rio Paraíba do Sul caracteriza-se, fundamentalmente, no atendimento da produção de energia elétrica, no controle de cheias, e na demanda de abastecimento humano e agropecuário, bem como para fins industriais e de mineração. Além disso, trata-se da bacia localizada no sudeste do país, com grande quantidade de estudos em andamento e já realizados para seu desenvolvimento.

Dito isso, ressalta-se que o rio Paraíba do Sul possui uma transposição, denominada nesse estudo como sistema Light/Cedae, responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. A vazão para atendimento do sistema Light/Cedae é garantido por regras operativas em Santa Cecília, conforme resolução da ANA;

Outro uso que merece destaque ocorre na região do Baixo Paraíba do Sul, no município de Campos dos Goytacazes. Os Sistemas de canais Macaé-Campos e São Bento são abastecidos por captações localizadas na margem direita do rio Paraíba do Sul. Estes complexos sistemas são compostos por canais de drenagem e controle do lençol, construídos para evitar o alagamento de áreas agrícolas e hoje usados para irrigar algumas áreas em épocas de estiagem.

Pelo que se pode averiguar as tomadas d'água desses canais estão assoreadas e não se tem informação do balanço hídrico dessa região. É também uma das áreas mais relevantes para a reprodução da ictiofauna da bacia e para a pesca.

Foram consultadas e utilizadas as estimativas de vazão para novas transposições visando atendimento da Macrometrópole de São Paulo, conforme estudo *“Elaboração do Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista – Janeiro 2010.”*. Conforme dito anteriormente, não há previsões de novas transposições para outros pontos ao longo da Bacia Hidrográfica.

Conforme percebido nos resultados dos estudos, o impacto das alternativas de transposição de vazão para a megametrópole de São Paulo possui pequenas variações, sendo o arranjo número 10, ou seja, o arranjo cuja vazão de captação é de 15,5m³/s, a alternativa mais com maior impacto aos usuários do rio Paraíba do Sul, tanto do ponto de vista quantitativo quanto do ponto de vista qualitativo.

Também só considerando à quantidade disponível de água, a variação da vazão na foz do rio Paraíba do Sul para os cenários 2010 (alternativa A0) e 2035 (alternativa A0) apresenta pequena variação. Ao se comparar a situação atual (alternativa A0) a alternativa A10 (para o ano de 2035), esta variação se torna um pouco mais expressiva.

Complementar a estas análise, a qualidade do insumo poderá ser prejudicada nas vazões de estiagem, uma vez que poderá ser percebido o incremento na concentração de fósforo e diminuição da disponibilidade hídrica fazendo com que a depuração biológica seja mais lenta. Outro possível impacto qualitativo que merece destaque é o possível aumento do alcance da cunha salina, além do agravamento do processo de assoreamento do trecho próximo a foz..

A perda energética poderia chegar à 4,2% para todo o complexo na série histórica mais severa já constatada no Paraíba do Sul, que corresponde a cerca de 20 milhões anuais, sem considerar os custos adicionais para acionamento das termelétricas e demais custos diretos e indiretos.

8 RECOMENDAÇÕES

Visando propor ferramentas para gestão e compatibilização dos usos múltiplos em bacias complexas, como é o caso do rio Paraíba do Sul, procurou-se experiências Nacionais o que resultou na consulta ao relatório executivo para “*Determinação de subsídios para procedimentos operacionais dos principais reservatórios da bacia do rio São Francisco*”, 2002.

Para o rio São Francisco, foram discutidos diversos aspectos da operação dos reservatórios do Sistema, tendo em vista a inclusão do uso múltiplo do recurso hídrico nas regras operacionais vigentes. Nele, foram sugeridas metodologia alternativa para operação dos reservatórios com fins múltiplos, com análise e determinação de regra operativa de reservatórios, que considera adequadamente os usos múltiplos da água num sistema hidroenergético. O método proposto é similar ao utilizado neste relatório, onde foi percebida a otimização do sistema com funções objetivo energéticas, considerando outros usos na forma de restrições.

Esta abordagem poderia também ser adotada para o rio Paraíba do Sul, onde a modelagem do corpo hídrico poderá permitir uma flexibilização das regras operativas, de forma a ajustar os parâmetros quali-quantitativos. Sendo assim, as questões operativas dos reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul, poderá se utilizar de metodologia que permitam visualizar de forma clara e objetiva os “*trade-off*” (relação de troca) entre os usos conflitantes de geração de energia e captação para abastecimento.

Associado a esse aspecto merece destaque os reservatórios existentes nas hidrelétricas para a segurança hídrica da bacia, e que poderão no futuro garantir a regularização com prioridade para outros usos da água, como abastecimento da população, que já é feito de certa forma pelas regras existentes no Operador Nacional do Sistema-ONS.

De qualquer forma pode-se concluir que em qualquer caso avaliado, mesmo na situação de não implantação da retirada de água em novas transposições, na alternativa 0, o cenário das disponibilidades hídricas do rio Paraíba do Sul são muito críticas do ponto de vista de quantidade e qualidade da água nos eventos mais severos de vazões é muito grave.

A avaliação da qualidade da água com o uso de modelagem hidrodinâmica mostrou quadros propícios à floração de cianobactérias em pontos de baixas velocidades nos trechos modelados em São José de Campos, Barra do Piraí e Campos. Os resultados de indicadores de qualidade da água nos monitoramentos recentes mostram quadros preocupantes de coliformes fecais, principalmente a jusante de Barra Mansa, e também com maior presença de fósforo, o que reflete falta de saneamento básico nesses trechos do Paraíba do Sul.

Assim, não se recomendaria a implantação de novas transposições ou mesmo aumento das existentes, como se pode ver a diferença de disponibilidade é relevante, tanto do ponto de vista de quantidades, cerca de 15 m³/s, na pior situação do cenário futuro para o trecho a montante de Santa Cecília, e cerca de 12 m³/s para o trecho a montante de Campos, quanto do ponto de vista de qualidade, pois o quadro atual já é muito preocupante nas estiagens mais severas. Além disso, se tem um quadro bem importante de perdas energéticas.

Essas diferenças são muito significativas do ponto de vista quantitativo, representando uma disponibilidade hídrica com capacidade para irrigar uma área de 15.000 ha ou para abastecer de água cerca de 4 milhões de habitantes.

Além desse aspecto pode-se complementar com a avaliação da qualidade da água realizada para as situações críticas de vazão mínima da bacia em vários pontos, modeladas nesse estudo, que mostraram situações propícias a floração de algas e dificuldades para captação e tratamento da água para abastecimento das populações.

Dessa forma não parece estratégico e adequado a retirada de água do Paraíba do Sul para novas transposições além das existentes, e que mesmo o incremento da captação existente em Campos para novos projetos de irrigação tem que ser verificada em maior detalhe, além da caracterização da importância das captações existentes para ictiofauna e pesca dos canais e lagoas desta área.

Sendo assim, tendo em vista as análises e comentários apresentados ao longo dos produtos, é recomendado que:

- As agências de bacias de forma geral, e a AGEVAP em particular, tenham modelos de suporte à decisão (modelos de simulação da bacia capazes de representar os usos da água e regras operativas complexas, como o caso do Paraíba do Sul);
- As agências de bacias de forma geral, e a AGEVAP em particular, capacitem seu pessoal técnico na utilização destas ferramentas como subsídios a tomada de decisões e na orientação técnica de questões relevantes, tais como possibilidades de transposições de água para fora da bacia e seus impactos aos usuários na bacia;
- O desenvolvimento e implantação de modelos para análise e suporte à tomada de decisão devem ser multicritério, tendo em vista a gestão colegiada dos recursos hídricos no Brasil e facilitando o diálogo com a ANA, a ANEEL, o ONS e demais instituições.
- Sejam levantados dados primários para os usos da bacia. Foi percebido que a informação tanto para irrigação quanto para indústria é incipiente;
- Para maior acuracidade dos resultados e definição dos pontos mais críticos nas localidades selecionadas como mais relevantes, é necessário investir em novos levantamentos de seções topobatimétricas e aferição de parâmetros de qualidade da água nesses trechos em situações de vazões baixas;
- Sejam desenvolvidos estudos para expansão da rede de monitoramento hidrometeorológico na bacia, tendo em vista atender às necessidades de planejamento, operação e controle dos usos da água no rio Paraíba do Sul;
- Verificar as regras de operação dos reservatórios para dar maior segurança para atendimento das demandas prioritárias na bacia em detrimento de outros usos como o da geração hidrelétrica em situações críticas de vazões mínimas
- Que se amplie o monitoramento de cianobactérias no Paraíba do Sul, prioritariamente nos trechos de baixa vazão, e que os laboratórios das ETAs sejam capacitados para

monitorar e controlar efetivamente a qualidade da água, principalmente em relação a cianotoxinas;

- Que seja realizado um estudo específico para avaliar o crescimento de cianobactérias nos trechos afetados (de baixa vazão), analisando a sua variação junto a concentração de nutrientes (fósforo e nitrogênio) no corpo hídrico, visando o potencial impacto nas ETAs existentes.

9 REFERÊNCIAS

ANPED – Associação Nacional de Pesquisas em Ecodesenvolvimento. **O Processo de Avaliação de Impactos Ambientais e Geral, a Hidrelétrica no Brasil.** In: *Política Ambiental e Ecodesenvolvimento*. Rio de Janeiro: ANPED, 1992.

BACHFISCHER, R. **Métodos para Integração dos Recursos Ambientais no Processo de Planejamento Espacial: Métodos Voltados para a Análise de Efeitos Ecológicos** Brasília. IBAMA, 2001.

BANCO CENTRAL BRASILEIRO. *Pesquisa Focus Semanal*. Brasília: BACEN, 2007.

CIA. VALE DO RIO DOCE. *Efeito China: Implicações para o Planejamento Estratégico Empresarial*. São Paulo: CVRD, outubro de 2005.

CUMULATIVE EFFECTS ASSESMENT. **Integrated Environmental Management Information Series**. South Africa: Department of Environmental Affairs and Tourism, 2005.

EPE-EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO/SONDOTÉCNICA – AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DA BACIA DO RIO PARANAÍBA -2007/2008-

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA-NOS/AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo da Água nas Principais Bacias do Sistema Interligado Nacional -2003.

Forrester, J. W. **Industrial Dynamics**. Portland, Oregon, EUA: Productivity Press, 1961. 464p.

Forrester, J. W. **System Dynamics and the Lessons of 35 Years**. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, 1991.

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. *World Economic Outlook Database*. EUA: FMI, Abril 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. **Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade para o Período 1980-2050**. Revisão 2004. Brasília: IBGE, 2004.

"Caracterização Hidrogeológica da Bacia do Rio Paraíba do Sul no Estado de São Paulo", 2000, desenvolvido no âmbito do Projeto Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul (PQA);

“Planos de Bacia – Serra da Mantiqueira e Paraíba do Sul”, elaborado em 2000 pela Cooperativa de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais (CPTI). O primeiro teve por propósito estabelecer o Programa de Investimentos para a Gestão Integrada e Recuperação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul;

BARRETO, A.B.C., MONSORES, A.L.M., LEAL, A.S., et al., 2000, *Caracterização Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro*. In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de

Janeiro, MME (Ministério de Minas e Energia), SMM (Secretaria de Minas e Metalurgia), CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), Brasília.

CAETANO, L. C., 2000, *Água Subterrânea no Município de Campos dos Goytacazes (RJ): Uma Opção para o Abastecimento*. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências/UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.

CONSÓRCIO ICF-KAISER-LOGOS, 1999, *Caracterização Hidrogeológica da Bacia do Rio Paraíba do Sul no Estado de São Paulo – Nota Técnica NT-01-015 – Revisão A*. In: Projeto Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul, São Paulo.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), 1979, *Estudos de Águas Subterrâneas – Região Administrativa 3 – São José dos Campos*, v. 1 – Resumo.

SOUZA (1995), “Disponibilidades Hídricas Subterrâneas no Estado de Minas Gerais”.

FUNDAÇÃO COPPETEC-2002, Plano de Recursos Hídricos para a Fase Inicial da Cobrança na Bacia do Rio Paraíba do Sul – Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos, fevereiro.

RMA2 WES Version 4.5 - US Army, Engineer Research and Development Center. Sept 09, 2009.

Donnell, B.P., 1997. Users Guide to RMA2 WES Version 4.3.

INEA, 2010, Avaliação Ambiental do Rio Paraíba Do Sul - Trecho Funil - Santa Cecília - Relatório Técnico.

ENGEORPS, 2011. Relatório de Serviços de Campo dos Levantamentos Topobatimétricos - Rio Paraíba do Sul.

COPPETEC, 2011. Relatório de Viagem às Cidades Situadas às Margens do Rio Paraíba do Sul, Compreendidas entre a Barragem de Santa Cecília, em Barra do Piraí, e a Foz, PGRH-RE-01-R0.

ANA, 2002. Determinação de subsídios para Procedimentos Operacionais dos Principais Reservatórios da Bacia do Rio São Francisco.