



DISPONIBILIDADE DE AGUA DA BACIA DO RIO SAO JOÃO PARA UM COMPLEXO PETROQUIMICO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

Renato Gomes Sobral Barcellos
(Universidade Federal Fluminense)
Sérgio Ricardo da Silveira Barros
(Universidade Federal Fluminense)
Júlio Cesar Wasserman
(Universidade Federal Fluminense)
Maria Dulce Chicayban
(Universidade Federal Fluminense)

Resumo

Os recursos hídricos, considerados bem comum, devem ser geridos de forma integrada, visando a atender aos vários usos, minimizando os conflitos e, ao mesmo tempo, garantindo que as gerações futuras tenham acesso aos mesmos. Este trabalho tem como objetivo principal fazer uma avaliação da disponibilidade de água da Bacia do Rio São João, mais especificamente da Represa de Juturnaíba, como fonte de abastecimento de água para o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ). A pesquisa também apresenta o cálculo do volume de estocagem atual da represa, um estudo de vazão dos corpos d'água da Bacia do Rio São João, um levantamento da evolução demográfica dos municípios afetados e a conseqüente demanda de água e também a avaliação da distribuição pluviométrica da região, bem como sua disponibilidade de "água azul". A revisão bibliográfica incluída neste trabalho busca dar respaldo ao conhecimento dos aspectos teóricos do estudo e a obtenção de dados, e também contempla as leis que regem os recursos hídricos no país e no Estado do Rio de Janeiro. A utilização de curvas de crescimento das populações da região com as respectivas linhas de tendência foi parte da metodologia adotada. Também são utilizados os dados provenientes das estações de medição de fluxo, o aporte de água de chuva medidos pelas estações meteorológicas e as equações que levarão ao cálculo do volume atual da Represa de Juturnaíba.

Palavras-chaves: Disponibilidade Hídrica, COMPERJ, Sustentabilidade, Gestão Ambiental

INTRODUÇÃO

A instalação do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) tem sido questionada em função dos problemas relacionados a disponibilidade de água e riscos ambientais. As alternativas de abastecimento para o COMPERJ são: a) a transposição de água do Rio Paraíba do Sul; b) água de dessalinização; c) exploração de aquíferos; d) construção de barragens na bacia de drenagem dos Rios Macacu e Caceribu; d) reuso de água de lavagem da estação de tratamento de efluentes do Guandu; e) transposição da água da represa de Juturnaíba formada pelo Rio São João. Um estudo prévio (COPPE, 2006), estabeleceu que a melhor fonte de abastecimento para o COMPERJ seria a represa de Juturnaíba (Figura1) por causa dos custos mais baixos. O presente estudo avalia a viabilidade do uso da bacia do Rio São João e das águas da represa de Juturnaíba e, que é uma das reservas de água mais limpas do Estado do Rio de Janeiro. Entretanto, a questão principal está relacionada à sustentabilidade ao longo do tempo para a mencionada alternativa. Do ponto de vista da certeza de disponibilidade de água, todas essas opções têm aspectos positivos e negativos, mas a sugestão é de que a situação ideal seria o uso simultâneo das alternativas. Entre elas, a bacia do Rio São João, parte da Região das Baixadas Litorâneas, apresenta ecossistemas bem preservados e encontra-se inserida plenamente na área de proteção denominada Área de Proteção Ambiental do Rio São João, criada por um decreto federal em 27 de junho de 2002 (Figura 1). Além disso, a área é sujeita a muitos usos, diversos deles em situação de evidente conflito, com preocupantes projeções do ponto de vista da sustentabilidade para um breve futuro.¹ Além dos aspectos relacionados à disponibilidade de água para atividades humanas, os impactos da captação de água sobre o ecossistema devem ser considerados. Benigno, Saunders *et al.* (2003) demonstraram que a água proveniente da represa é crucial para a manutenção do equilíbrio entre água doce e água do mar no estuário do Rio São João. É evidente que a captação da água da represa causará danos ao mangue e às matas ciliares na Área de Proteção Ambiental (APA), que é o lar de muitas espécies em extinção, tais como o mico leão dourado.

1 Atualmente, a bacia tem diversos usos, muitos dos quais conflitantes, tais como: (1) abastecimento público de água, proveniente da represa de Juturnaíba, para os municípios de Rio Bonito, Silva Jardim, Casimiro de Abreu, Niterói, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio, Armação dos Búzios, Araruama, Arraial do Cabo and Saquarema, (2) irrigação para lavoura de inhame, cítricos, arroz e cana de açúcar a montante e a jusante da barragem, (3) uso industrial, principalmente para a AGRISA, uma planta de etanol, (4) extração de areia, que é uma das atividades econômicas mais antigas da bacia, especialmente no canal retificado a montante do reservatório, (5) dessedentação de animais (Bidegan and Völckler, 2003), (6) pesca artesanal ou recreativa. Outros usos relatados são recreação, navegação e aquacultura, especialmente onde o Rio São João está próximo a zona costeira. Outros conflitos são esperados para o futuro, independentemente do uso da água do Rio São João pelo COMPERJ. Já existe uma forte demanda para o abastecimento doméstico na Região dos Lagos para as cidades de Búzios e Rio das Ostras, as quais ainda não estão plenamente atendidas pelos serviços de abastecimento. Atualmente, é esperado que a demanda de água para a Região dos Lagos duplique nos próximos anos. Outro ponto crítico é o interesse conflitante de companhias tais como Águas de Niterói e CEDAE (que serve a vários municípios do CONLESTE – consórcio de 11 municípios do leste da Baía de Guanabara) de captação da água da represa de Juturnaíba para aumento da capacidade de sua rede que não pode mais ser suportada pelo sistema de abastecimento Imunana Laranjal (perto da Baía de Guanabara).

questionada em função dos problemas relacionados à disponibilidade de água e riscos ambientais. As alternativas de abastecimento para o COMPERJ são: a) a transposição de água do Rio Paraíba do Sul; b) água de dessalinização; c) exploração de aquíferos; d) construção de barragens na bacia de drenagem dos Rios Macacu e Caceribú; d) reuso de água de lavagem da estação de tratamento de efluentes do Guandu; e) transposição da água da represa de Juturnaiba formada pelo Rio São João. Um estudo prévio (COPPE, 2006), estabeleceu que a melhor fonte de abastecimento para o COMPERJ seria a represa de Juturnaiba (Figura1) por causa dos custos mais baixos. O presente estudo avalia a viabilidade do uso da bacia do Rio São João e das águas da represa de Juturnaiba e, que é uma das reservas de água mais limpas do Estado do Rio de Janeiro. Entretanto, a questão principal está relacionada à sustentabilidade ao longo do tempo para a mencionada alternativa. Do ponto de vista da certeza de disponibilidade de água, todas essas opções têm aspectos positivos e negativos, mas a sugestão é de que a situação ideal seria o uso simultâneo das alternativas. Entre elas, a bacia do Rio São João, parte da Região das Baixadas Litorâneas, apresenta ecossistemas bem preservados e encontra-se inserida plenamente na área de proteção denominada Área de Proteção Ambiental do Rio São João, criada por um decreto federal em 27 de junho de 2002 (Figura 1). Além disso, a área é sujeita a muitos usos, diversos deles em situação de evidente conflito, com preocupantes projeções do ponto de vista da sustentabilidade para um breve futuro.¹ Além dos aspectos

¹ Atualmente, a bacia tem diversos usos, muitos dos quais conflitantes, tais como: (1) abastecimento público de água, proveniente da represa de Juturnaiba, para os municípios de Rio Bonito, Silva Jardim, Casimiro de Abreu, Niterói, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio, Armação dos Búzios, Araruama, Arraial do Cabo and Saquarema,(2) irrigação para lavoura de inhame,

relacionados à disponibilidade de água para atividades humanas, os impactos da captação de água sobre o ecossistema devem ser considerados. Benigno, Saunders *et al.* (2003) demonstraram que a água proveniente da represa é crucial para a manutenção do equilíbrio entre água doce e água do mar no estuário do Rio São João. É evidente que a captação da água da represa causará danos ao mangue e às matas ciliares na Área de Proteção Ambiental (APA), que é o lar de muitas espécies em extinção, tais como o mico leão dourado.

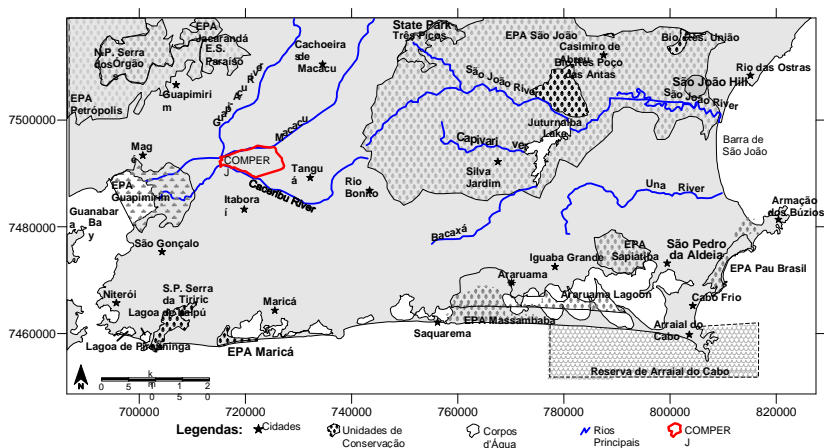


Figura 1: Área de estudo, mostrando áreas protegidas da Bacia do Rio São João e Região dos Lagos, incluindo a parte Leste da Baía de Guanabara. A futura localização do COMPERJ fica a alguns km do centro de Tanguá.

Este estudo tem por objetivo: 1) avaliar a disponibilidade de água para o COMPERJ dos municípios da Região dos Lagos e da Bacia do Rio São João (gerenciados pelo Comitê de

cítricos, arroz e cana de açúcar a montante e a jusante da barragem, (3) uso industrial, principalmente para a AGRISA, uma planta de etanol, (4) extração de areia, que é uma das atividades econômicas mais antigas da bacia, especialmente no canal retificado a montante do reservatório, (5) dessedentação de animais (Bidegan and Völckler, 2003), (6) pesca artesanal ou recreativa. Outros usos relatados são recreação, navegação e aqüicultura, especialmente onde o Rio São João está próximo à zona costeira. Outros conflitos são esperados para o futuro, independentemente do uso da água do Rio São João pelo COMPERJ. Já existe uma forte demanda para o abastecimento doméstico na Região dos Lagos para as cidades de Búzios e Rio das Ostras, as quais ainda não estão plenamente atendidas pelos serviços de abastecimento. Atualmente, é esperado que a demanda de água para a Região dos Lagos duplique nos próximos anos. Outro ponto crítico é o interesse conflitante de companhias tais como Águas de Niterói e CEDAE (que serve a vários municípios do CONLESTE – consórcio de 11 municípios do leste da Baía de Guanabara) de captação da água da represa de Juturnaiba para aumento da capacidade de sua rede que não pode mais ser suportada pelo sistema de abastecimento Imunana Laranjal (perto da Baía de Guanabara).

Bacias Lagos São João e pelo CONLESTE), incluindo as bacias hidrográficas do Rio Macacu/Rio Caceribú e Rio São João, considerando demandas atuais e imediatamente futuras devido ao crescimento populacional, usos futuros e conflitos; 2) avaliar impactos ambientais em relação ao abastecimento do COMPERJ, que envolve 19 municípios. A análise permitiu chegar a conclusões que irão dar suporte a tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos da região.

ESTUDO

A abordagem considerou a disponibilidade de recursos hídricos para o COMPERJ e sua sustentabilidade em um contexto de crescimento intenso mantido por atividades turísticas e desenvolvimento industrial. A metodologia considerou: a) as curvas de crescimento demográfico de cada município envolvido, em alguns casos com base no modelo da experiência do município de Macaé, que, desde o início dos anos 80, tem tido um intenso aumento na população causado pela indústria de petróleo; b) a estimativa das necessidades de água para as populações dos municípios da área do COMPERJ (apenas em relação ao uso doméstico); c) a avaliação da disponibilidade de água para o mesmo fim considerando vazões dos rios e a capacidade de armazenamento (dada, sobretudo pela Represa de Juturnaiba)

Através de imagens georeferenciadas do satélite Ikonos, foi estabelecido, com o programa Surfer®, um mapa do reservatório de Juturnaiba, no período de Junho/2005 a Julho/2006. Visualmente, foi estimada a área máxima de alagamento do reservatório, incluindo as áreas pantanosas e áreas de baixada nas margens do reservatório. Os contornos do reservatório deram, respectivamente, inundações e enchentes normal e máxima, sendo calculadas suas áreas de superfície. Considerando a área máxima de enchimento mencionada por Cunha (1995), uma estimativa da profundidade média no tempo de construção foi estabelecida (ver Equação 1). Considerando também que nenhuma avaliação da taxa de sedimentação foi ainda feita, foi estimado o valor de 0,75 cm por ano, sendo este um dado excepcionalmente observado em áreas muito assoreadas da Baía de Guanabara - um corpo d'água impactado, com entorno industrializado (Godoy, Moreira et al., 1998). A atual profundidade foi calculada com base na proporcionalidade de redução da área de superfície (causada pela suavização da declividade das margens) sendo considerado o assoreamento estimado (nenhuma pesquisa

$$H_{Av} = \frac{V_{in}}{A_{MF}}$$

$$H_{mF} = \left(H_{Av} \times \frac{A_{mF}}{A_{MF}} \right) - (Sed \times Y)$$

batimétrica da represa foi ainda feita) (ver Equação 2). Finalmente, o volume atual foi calculado de acordo com a Equação 3.²

$$H_{Av} = \frac{V_{in}}{A_{MF}}$$

EQUAÇÃO 1

$$H_{mF} = \left(H_{Av} \times \frac{A_{mF}}{A_{MF}} \right) - (Sed \times Y)$$

EQUAÇÃO 2

$$V_N = H_{mF} \times A_{mF}$$

EQUAÇÃO 3

Onde:

V_{in} : Volume inicial do reservatório (dado no projeto de construção)

A_{MF} : Área máxima calculada de alagamento baseada na imagem do Ikonos

H_{Av} : Profundidade média na época de construção do reservatório.

A_{mF} : Área normal de alagamento baseada na imagem do Ikonos.

Sed : Taxa de sedimentação em cm por ano-1.

Y : Número de anos desde a construção.

H_{mF} : Profundidade média de alagamento normal do reservatório.

V_N : Volume atual do reservatório.

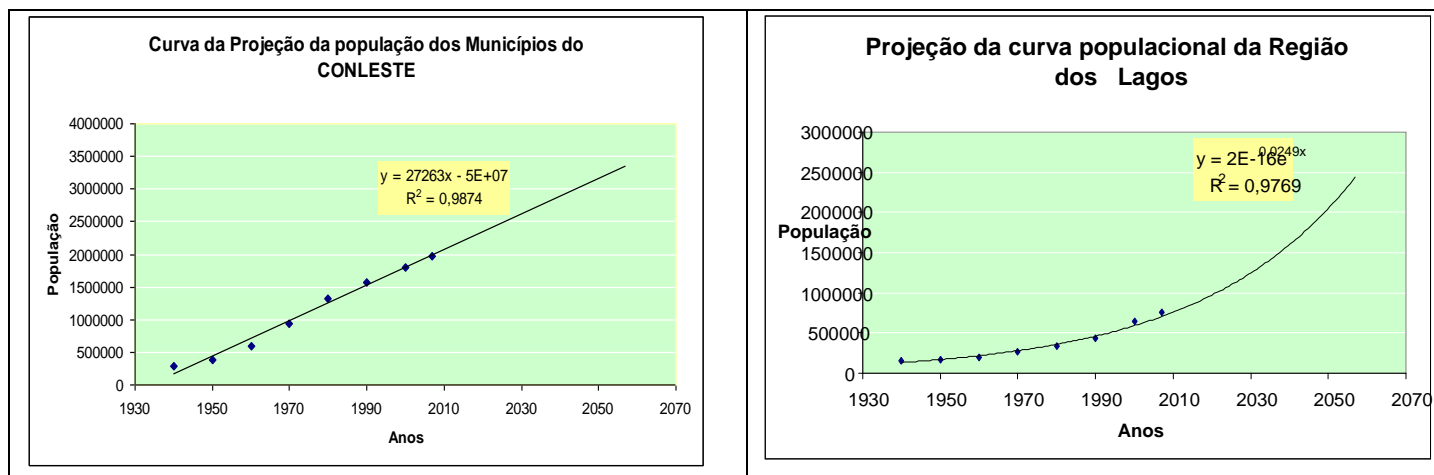
O aporte de água de chuva também foi avaliado pelos dados recentes de 27 estações meteorológicas localizadas na porção leste do Estado do Rio de Janeiro. Os dados foram obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) e os resultados plotados em um mapa como isoietas. A sustentabilidade dos recursos de água na região foi avaliada baseada na entrada de água através dos rios, seguindo os conceitos estabelecidos por WWV (2000) e Christofides (2003) que avaliaram a disponibilidade de recursos hídricos na região como uma função de sua população.

RESULTADOS

Evolução da demografia

Uma análise detalhada da evolução demográfica de cada município, baseada nos dados do censo brasileiro desde 1940, permitiu a construção de um modelo de projeção baseado na definição de uma equação para o crescimento da população. As Figuras 2 e 3 apresentam o crescimento dos municípios do CONLESTE (linear) e da Região dos Lagos (exponencial), respectivamente. A Tabela 4 apresenta o número de habitantes para os próximos anos, até 2050, para cada região.

² Obviamente estes cálculos são estimativas e estão sujeitos a grandes erros. Melhores informações serão possíveis apenas com avaliação batimétrica do reservatório. No modelo em estudo, algumas variáveis como perda por evaporação e captação de água para irrigação local e outros usos não foram incluídas.



Figuras 2 e 3: Projeções de População ate o ano 2050 para os municípios do CONLESTE, e da Região dos Lagos, baseado nos dados do Censo Brasileiro desde o ano de 1940.

Tabela 1– Projeção da população para as regiões estudadas.

	2010	2020	2030	2040	2050
Região dos Lagos	607.500	788.600	1.023.800	1.329.200	1.725.500
CONLESTE	2.100.000	2.250.000	2.500.000	2.750.000	3.100.000
Total	2.707.500	3.038.600	3.523.800	4.079.200	4.825.500

A Tabela 1 indica que o crescimento esperado para as duas regiões é muito significativo devido aos incrementos que implica o excepcional desenvolvimento econômico (novas refinarias e novos complexos turísticos {FIRJAN, 2006 #1812}), além da migração que é projetada para a região, resultando uma projeção de demanda de água de $6.14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (em 2010) para $10.95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (em 2050) se levarmos em consideração o atual nível de consumo de $196 \text{ L dia}^{-1} \text{ habitante}^{-1}$ {Programa de Modernização do Setor de Saneamento, 2007 #1813}.

Tabela 2: Evolução das necessidades de água para as regiões estudadas, considerando um consumo per capita de 196 L dia^{-1} .

	2010	2020	2030	2040	2050
Região dos Lagos	1.4	1.8	2.3	3.0	3.9
CONLESTE	4.8	5.1	5.7	6.2	7.0
Total	6.1	6.9	8.0	9.3	10.9

Vazão dos corpos d'água de ambas as regiões.

Como mostrado na seção anterior, à ocupação da região aumentou dramaticamente nos últimos 30 anos, mas o problema das reservas de água falta foi negligenciado pelas

autoridades locais e regionais. Um exemplo é a falta de medições a jusante da Represa de Juturnaíba que teve suas primeiras medidas de vazão feitas por {Benigno, 2003 #1371}. Na bacia do Rio São João como um todo, a única estação de medições consistente é Correntezas (Rio São João) que tem operado por mais de 30 anos. Na Bacia dos Rios Cachoeiras de Macacú/Caceribu, apenas a estação Parque Ribeira (Rio Cachoeiras de Macacú) tem estado operacional por mais de 30 anos. É urgente que novas estações sejam instaladas na região.

Bacia do Rio São João

Nesta bacia, três rios principais contribuem para o Lago de Juturnaíba (Rios São João, Capivari e Bacana). A Figura 4 apresentando os dados de Correntezas, no rio São João (operante por mais de 30 anos), é uma media mensal enquanto as Figuras 5 e 6, apresentando os dados das estações de Silva Jardim e Sitio Suzana mostram variações diárias (pouco tempo de coleta de dados). A Figura 4 mostra uma redução significativa da vazão nos meses de inverno, um período onde a vazão pode atingir $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Exceto em situações excepcionais, a vazão dos rios mostradas nas Figuras 5 e 6 são relativamente baixas e o Rio Capivari apresenta uma vazão mínima de $0.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ enquanto o Rio Bacana mostra uma vazão mínima de $3.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. O total de contribuições mínimas calculado para estes três rios foi $8.75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e, como esperado, o período mais crítico para estes rios foi o inverno, de Julho a Setembro.³ No estudo de Völcker, em 2005/2006 (Figura 8) uma vazão mínima de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ foi medida na saída da represa, embora a vazão possa atingir valores como $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na época de cheias. A consistência dos dados da estação de Correntezas permitiu o calculo dos valores de Q7/10 (vazão media mínima de 7 dias para o período de 10 anos), conforme mostrado na Tabela 3.

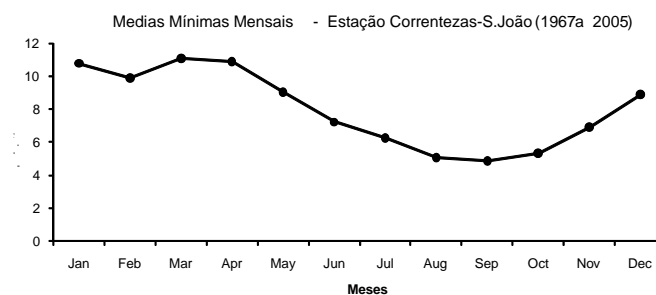


Figura 5 – Vazão media mínima mensal na estação Correntezas. As medidas foram feitas de 1971 a 2005.

3 {Benigno, 2003 #1371} fez uma medida única da vazão do rio no ponto de estrangulamento apos a barragem em uma estação seca (Junho de 2003). Neste trabalho foi reportado que uma vazão excepcionalmente baixa de pouco mais de $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

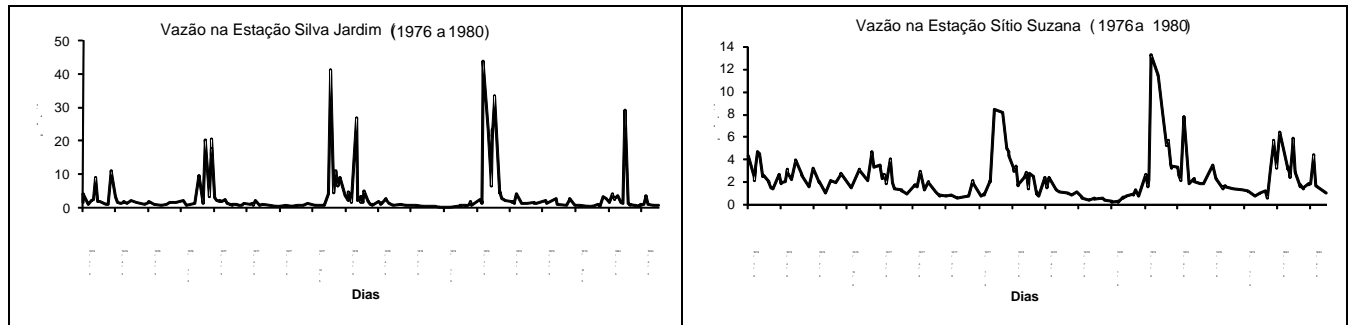


Figura 6 e 7 – Medidas de vazão diárias nas estações Silva Jardim (Rio Capivari) e Suzana (Rio Bacana). As medidas foram feitas de 1971 e 1980.

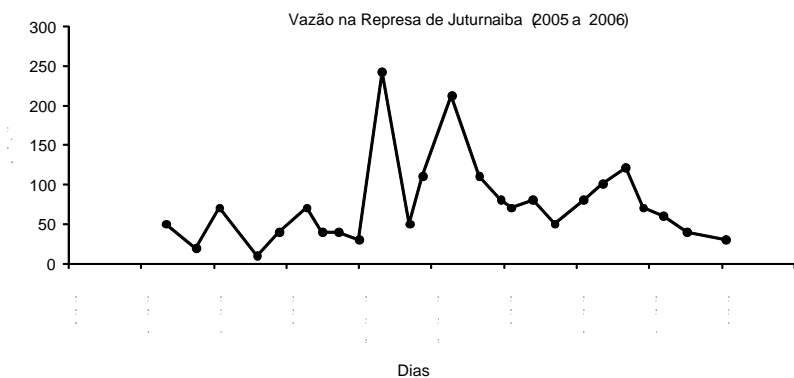


Figura 8 – Vazões na saída da Represa de Juturnaíba no período de 2005 a 2006

(Medições feitas a cada 15 dias. A vazão mínima medida em julho de 2003, $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ não aparece no gráfico).

Tabela 3: Valores de $Q_{7/10}$ para vários períodos de 10 anos na estação Correntezas (alto do Rio São João).

Período		Vazão ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
1967/1975	Valor Mínimo	2.6
	Valor Máximo	33.3
1976/1985	Valor Mínimo	0.8
	Valor Máximo	92.6
1986/1995	Valor Mínimo	4.0
	Valor Máximo	100.1
1996/2005	Valor Mínimo	3.6
	Valor Máximo	96.7

Para avaliar a disponibilidade de água na Represa de Juturnaíba será usado o valor de $8.75 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de aporte de água dos rios, correspondente ao período de estiagem. No modelo é assumido uma situação extrema onde este aporte baixo pode durar até 90 dias. Embora não estejam disponíveis medidas consistentes, os anos de 2001 a 2003 foram extremamente secos e é possível que durante este período tenha havido aportes ainda mais baixos. O valor mínimo mensal para os meses de inverno observados nos dados disponíveis foi de $3.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Para o propósito de cálculo da disponibilidade e sustentabilidade dos recursos hídricos, o valor médio de aporte referente à Bacia do Rio São João (incluindo os rios Capivari e Bacana) foi também calculado, gerando um valor de $21.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Bacia dos Rios Macacú/Caceribu

A bacia dos rios Macacú/Caceribu apresenta um número absurdamente reduzido de medições de vazão, apesar do fato de a mesma suprir a planta de tratamento de água de Imunana-Laranjal, um sistema que provê água potável para uma população de mais de 2 milhões de pessoas (ver os valores acima, na discussão sobre a demografia da região do CONLESTE). Da mesma forma que a Bacia do Rio São João, esta região necessita urgentemente estações de medições de fluxo. Os dados disponíveis da estação Parque Ribeira, no Rio Macacú, apresentam um comportamento padrão de vazão reduzida durante a estação de inverno, com um fluxo mínimo de $3.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em agosto, durante um período de 36 anos de medições. Para este fluxo mínimo, outra vazão de $0.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ deve ser adicionada, referente a Bacia do Rio Gaupiaçu, um afluente do Rio Macacú.

Embora o Rio Caceribu apresente uma qualidade de água que atualmente não é compatível com o consumo humano, é possível que em uma situação futura de falta de água, este rio seja considerado, mesmo que o custo do tratamento aumente significativamente. Portanto, o estudo da disponibilidade de água incluiu o Rio Caceribu, através de sua estação Ponte Tanguá, ainda que os dados sejam pouco consistentes. É interessante citar sobre as medidas desta estação que o verão do ano de 1953 apresentou um fluxo de água muito baixo, provavelmente causado por uma estiagem excepcional. Não obstante, os resultados mostram que o suprimento de água para a região é muito instável e outras fontes devem ser

consideradas, além dos rios isoladamente. Neste sentido, é altamente recomendável que novas represas e outros investimentos sejam feitos para esta região.

Capacidade de armazenamento da Represa de Juturnaíba

A capacidade de armazenamento da represa de Juturnaíba, dado importante para o gerenciamento deste recurso hídrico, foi calculada neste estudo, uma vez que apenas uma estimativa baseada nos estudos iniciais do projeto era conhecida. Sendo assim, uma avaliação mais consistente do volume da represa era necessária e foi escolhido trabalhar com as imagens do satélite Ikonos, sendo construído um modelo que considera o assoreamento e outros parâmetros.⁴ A Figura 9 mostra a Represa de Juturnaíba indicando áreas normais (em azul) e áreas de máximo de inundação (acinzentada). A Tabela 4 apresenta um modelo para o cálculo do tamanho do reservatório, onde pode ser também observado os parâmetros utilizados para calcular o número de dias de estiagem necessários para esvaziar o lago por inteiro, quando o déficit de água pode atingir $3\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

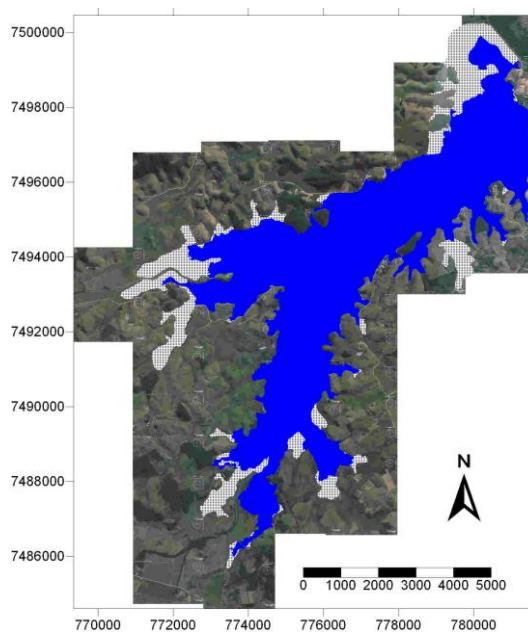


Figura 9 – Estimativa da situação de máximo de inundação e situação normal na Represa de Juturnaíba. A área em azul representa a estação mais seca e a área mais clara representa o máximo de área inundada.

Tabela 4 – Modelo para disponibilidade de água na Represa de Juturnaíba

⁴ Um levantamento batimétrico é uma necessidade crucial para o lago, a fim de ter uma melhor compreensão da capacidade de armazenamento.

Area máxima de alagamento	41.118.301 m ²
Volume máximo estimado no projeto de construção	100.000.000 m ³ (Cunha, 1995)
Profundidade média	2,43 m (em 1980, obtido do projeto de construção)
Assoreamento nos últimos 27 anos	20 cm (valor estimado baseado no assoreamento da baía de Guanabara, medido por Godoy, Moreira <i>et al.</i> (1998)
Profundidade atual	2,23 m
Volume máximo atual	91.776.340 m ³ (considerando o assoreamento de 27 anos)
Área normal atual da represa (azul)	34.059.599 m ²
Profundidade proporcional	1,85 m
Volume normal	62.914.212 m ³
Considerando um afluxo constante no rio de 8 m ³ s ⁻¹	
Considerando-se uma saída para o fornecimento de toda a região de 11 m ³ s ⁻¹ incluindo usos industrial e comercial, além de uso doméstico. Uma necessidade doméstica de 10,9 é projetada para a região em 2050.	
Um déficit de 3 m ³ s ⁻¹ durante um período de 243 dias esvaziaria completamente o reservatório	

O modelo indica que o lago de Juturnaíba constitui um grande recurso hídrico para a região. Entretanto, considerando o crescimento da região e a demanda futura, a segurança de abastecimento de água proveniente desta fonte está sob ameaça. Outra questão, não considerada nos modelos acima mencionados, é a vazão mínima ecológica, que é a vazão mínima de água doce necessária para apoiar os ecossistemas à jusante, incluindo os manguezais.⁵ Além disso, a redução dos aportes de água pode puxar a zona de mistura do estuário do rio mais a montante, provocando grave alteração da flora ciliar. Outra ameaça não descrita no modelo acima é o fato que, uma vez esvaziado o lago, após 243 dias de déficit hídrico, outros 243 dias de suprimento excedente de água serão necessários para encher o reservatório, o que implica um período de 486 dias de déficit de água a jusante da barragem, dando origem a um quadro capaz de modificar definitivamente os mencionados ecossistemas.

Análise Pluviométrica da Bacia do Rio São João

Os aportes de água no sistema de drenagem são primariamente de água de chuva, sendo sua avaliação junto ao relevo da região⁶ necessários para a compreensão da disponibilidade do

5 No Rio São João as autoridades locais (participantes da Bacia Hidrográfica da Região dos Lagos e do Rio São João) determinam uma vazão mínima ecológica de 8 m³ s⁻¹, um valor que pode facilmente ser atingido em condições de estação seca. A pressão da falta de água doce pode enfraquecer as árvores dos manguezais que se tornam mais sujeitas a outros impactos.

6 O relevo influencia significativamente a distribuição das águas de chuva. A característica mais notável no caso é a presença de uma planície costeira muito plana que se estende de oeste (Baía de Guanabara) para o leste. Mais para o interior da planície costeira, uma cadeia de montanhas íngremes se levanta a cerca de 1000 m, e é responsável pelo processo orográfico. Na porção leste da região, no município de Arraial do Cabo (ver Figura 1), a direção da costa muda para Sul-Norte e o ar úmido que chega do oceano, atravessa a região costeira e não precipita, avançando na direção norte-sul e então esta região se torna muito seca.

recurso. Foram estudados os mapas de isoietas de ambas as regiões, com base na pluviosidade média anual de 27 estações pluviométricas, sendo observado um aumento acentuado na pluviosidade para a parte norte da região, resultante dos processos orográficos. A precipitação pode atingir valores abaixo de 900mm em Cabo Frio, mas pode atingir mais de 2800mm nas regiões montanhosas.

A alta umidade encontrada nas cabeceiras dos rios São João, Macacu e Caceribu fornece uma fonte significativa de água para os aquíferos, e, por sua vez, garante um fluxo constante de água para os rios. No entanto, devido ao fato de que a cadeia de montanhas está muito próxima da costa, as bacias hidrográficas não tem muita extensão (cerca de 80 km), o que cria rios de expressão local, muito sensíveis às entradas de água da chuva. Além disso, a vegetação da região foi destruída, o que está impedindo a consistência dos fluxos d'água.

Disponibilidade de “Água Azul”

Enquanto a água disponível nos reservatórios provê sustentabilidade em curto prazo, a chamada “água azul” (WWV, 2000), aquela que é reciclada na atmosfera, assegura sustentabilidade em longo prazo. A FAO (2000) define que “água azul” é a quantidade de água precipitada menos a água que é gasta para suportar os ecossistemas (também chamada de “água verde”). A “água azul” é então o montante disponibilizado para consumo.⁷ Embora o Brasil tenha um alto volume de água renovável por ano ($42,459 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$), alguns estados brasileiros exigem uma elevada capacidade técnica para a gestão da água, estando a região em estudo em um estado de "alerta de escassez de água" (ver Tabela 5).

Tabela 5 – Estados brasileiros sob “alerta de escassez de água” (Christofides, 2003), comparada com a região estudada - ($\text{m}^3 \text{ hab.}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Estados Brasileiros	Disponibilidade
Alagoas	1,545
Distrito Federal	1,338
Paraíba	1,327
Pernambuco	1,173
Rio Grande do Norte	1,523
Sergipe	1,422
Região em estudo	413

⁷ De acordo com Christofides (2003) se o suprimento de água renovável (“água azul”) em uma região é maior que $1700 \text{ m}^3 \text{ hab.}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, a disponibilidade é confortável. Por outro lado, se o suprimento de “água azul” é menor que $1700 \text{ m}^3 \text{ hab.}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, a região é sujeita a alerta de escassez de água. Se a disponibilidade cai abaixo de $1000 \text{ m}^3 \text{ hab.}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, a região está sob o regime de escassez crônica de água, no qual não há espaço para o uso de água na agricultura, pecuária e indústria.

Para avaliar a disponibilidade de água de fontes renováveis no futuro, as projeções de crescimento da população nos próximos 40 anos foram utilizadas. Para a avaliação da disponibilidade a longo prazo, foi usado o somatório da vazão média dos cinco principais rios da região, sendo obtido um valor de $35.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, correspondente a $1.12 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$. O volume do reservatório não entrou no presente cálculo porque este apenas serve para assegurar a disponibilidade de água a curto prazo (até 243 dias). A Tabela 6 apresenta os resultados para a evolução do suprimento de água renovável per capita para os próximos 40 anos, para cada região e para ambas as regiões conjuntamente. Nesta tabela, pode ser observado que a situação da “água azul” é de “escassez crônica” e em 2050 a situação estará largamente insustentável.

Tabela 6 – Desenvolvimento do suprimento de “água azul” (renovável) per capita para a área de estudo entre 2010 e 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Região dos Lagos	1104	851	655	505	389
CONLESTE	214	199	179	163	145
Total	413	368	318	274	232

O modelo assume que o aporte hídrico na área não varia com o tempo: $1.12 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$

CONCLUSÃO

Pelas avaliações acima, pode-se concluir que a sustentabilidade dos recursos hídricos da região leste da Baía de Guanabara é crítica, principalmente nos altamente populosos municípios de São Gonçalo e Niterói. É suposto que a instalação do COMPERJ, um complexo petroquímico, piore muito a situação por causa do conseqüente aumento da população, indústrias e comércio, que demandarão mais água. O Lago de Juturnaíba é o único reservatório de água na região que está apto a fornecer água para a população, mas o estudo mostra que em situações extremas de seca, os resultados do consumo de toda a água do reservatório pode ser catastrófico. A situação dos manguezais e da vegetação ciliar é crítica, porque a redução do suprimento de água pode alterar completamente seu ecossistema. Estas

áreas (na Baía de Guanabara e no estuário do Rio São João) devem ser monitoradas para acompanhar suas modificações.

Algumas soluções para a região devem ser delineadas, considerando a disponibilidade de água na região e os cuidados com o meio ambiente. Entretanto, a construção de novas represas na região parece indispensável para garantir o suprimento de água em longo prazo. Considerando que a bacia vizinha do Rio Paraíba do Sul tem ainda uma disponibilidade significativa, a captação de água deste sistema pode ser uma solução. Outros mecanismos tais como dessalinização, reuso de águas residuais tratadas devem ser também considerados. Finalmente, é necessário considerar a possibilidade de reduzir as taxas de crescimento na região, reduzindo assim o consumo de água. Qualquer ação que seja decidida, as decisões para isto devem ser tomadas rapidamente.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, J. E. A. G. Brito. A utilização de indicadores ambientais como suporte ao planejamento e gestão de recursos hídricos: o caso da Região Autónoma dos Açores (Portugal). III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua. Sevilla, Spain, 2002. 1-10 p.
- Almeida, J. R. M., F. E.; Souza, J. M. & Malheiros, T. M. 1999. Planejamento Ambiental: Caminho para participação popular e gestão ambiental para o nosso futuro comum, um desafio. Rio de Janeiro: Thex Editora. 1999. 161 p.
- Almeida, Maria da Conceição. Mapa inacabado da complexidade. In: Silva, Aldo Dantas & Galeno, Alex. Geografia ciência do complexus: ensaios transdisciplinares. Porto Alegre: Sulina, 2004. 334p.
- Antunes, Paulo Bessa. *Direito Ambiental*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Lúmen Júris, 1999. 529 p.
- Barros, Sergio Ricardo da Silveira. A Inserção da Zona Costeira nas territorialidades da Bacia Hidrográfica do Rio São João – RJ: inter-relações, trocas e conflitos. – Niterói: [s. n.], 2007.181 f. Tese (Doutorado Geografia) – Universidade Federal Fluminense, 2007.
- Barros, Sergio Ricardo da Silveira. Proposta de um Plano de Ação para o Gerenciamento Integrado da Zona Costeira no Município de Saquarema-RJ. – Niterói : [s. n.], 2003.124 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, 2003.
- Benigno, E., C. Saunders, ET al. Estudo dos Efeitos da Renaturalização no Regime Hídrico do Baixo Curso do Rio São João. Universidade Federal Fluminense - Consórcio Intermunicipal Lagos São João - WWF. Niterói, p.48. 2003
- Bidegan, P. e C. M. Völckler. Bacias Hidrográficas dos rios São João e das Ostras Águas, terras e conservação ambiental. Araruama: CILSJ. 2003. 179 p.
- Binsztok, J. O fracasso da agricultura empresarial no vale do rio São João - RJ. O estado do Rio de Janeiro no início do século XXI: Olhando para o futuro. Instituto de Geociências, UFF, Niterói: Departamento de Geografia, UFF, 2001. 1-12 p.
- Carvalho, V. C. e H. G. Rizzo. A zona costeira brasileira: subsídios para uma avaliação ambiental. Brasília: MMA, v.211. 1994
- Christofídis, D. Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental. BAHIA ANÁLISE & DADOS, v.13, n.especial, p.371-382. 2003.
- Cicin-Sain, Biliana.; Knecht, Robert. W., Integrated coastal and ocean management: concepts and practices, Washington DC: Island Press, 1998. 517 p.
- CIDE. Estado do Rio de Janeiro: Território. FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. Rio de Janeiro, p.80. 1998
- _____. Anuário Estatístico do Rio Janeiro. Rio de Janeiro: FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO 2005.
- CILSJ - Consórcio Intermunicipal para Gestão Ambiental das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: < <http://www.riolagos.com.br/calsj/>. Acessado em: out. 2003.
- COPPE/UFRJ. Estudo de Afluência e Efluência de Água para o Pólo Petroquímico de Itaboraí: Alternativas para captação. Relatório Final, Estudo encomendado pela Petrobras S.A., 2006, 115 p.
- Cunha, S. B. Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do Rio São João. (Doutorado). Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995. 415 p.
- Diegues, Antonio. Carlos. Ecologia Humana e Planejamento Costeiro. 2 ed. São Paulo: NUPAUB/USP, 2001. 225 p.

- Godoy, J. M., I. Moreira, et al. A study of Guanabara Bay sedimentation rates. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, v.227, n.1-2, p.157-160. 1998.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2007. .Projeção da população 2007. Disponível em <<http://www1.ibge.gov.br/>> Acessado em: outubro 2007.
- IBGE Instituto brasileiro de geografia e estatística. *Brazilian Census of 2000. IBGE - Centro de Documentação e Disseminação de Informações. Rio de Janeiro, CD-ROM. 2000*
- MARQUES, José Roberto. Meio Ambiente Urbano. Rio de Janeiro: Forense Universitária. 2005.
- Moraes, Antonio Carlos Moraes Robert. Classificação das praias brasileiras por níveis de ocupação: proposta de uma tipologia para os espaços praias. In: Projeto Orla: subsídios para um projeto de gestão. Brasília. MMA e MPO, 2004. 104p.
- OECD. *OECD core set of indicators for environmental performance reviews. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris, p.60. 1993*
- Oliveira, Juarez de Castro, et al. Projeção da População do Brasil: metodologia e resultado. Rio de Janeiro. IBGE, 2004. 82 p.
- Paulos, F. J., R. F. Borim, et al. Uso de geotecnologia na estimativa da população equivalente em função da capacidade de suporte dos recursos hídricos de parte da bacia do Rio Macacú. (Monografia). Departamento de Análise Geo-Ambiental, UFF, Niterói, 2007. 53 p.
- Quadros, Waldir José e Santos Filho, Otaviano Canuto, Roteiro de análise econômica para o Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - MMA/SIP/PNMA, 1998. 67 p.(Políticas, Instrumentos e Normas Ambientais).
- Resolução CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000. Presidência da República. Base da Legislação Federal do Brasil. Dispõe sobre a necessidade de serem criados instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação aos níveis estabelecidos para a balneabilidade, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário; Brasília, 2005. Disponível em <<https://www.planalto.gov.br/>> acessado em março de 2005
- Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, Presidência Da República. Base da Legislação Federal do Brasil. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências; Brasília, 2005. Disponível em <<https://www.planalto.gov.br/>> acessado em agosto de 2005.
- SEAP – Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca. *Instrução Normativa nº 17*. Presidência da República. Brasília: 2005. 18p.
- Theodoro, Suzi H. Conflitos e Uso Sustentável dos Recursos Naturais, Garamond Universitária, Rio de Janeiro (2002)
- WWV. *Commission Report. A Water Secure World: Vision for Water, Life, and the Environment. World Water Vision. Cairo, Egypt, p.83. 2000*