

**FÁBIO ZACARIAS PEREIRA
LEONARDO SANCHES PREVITI
LUCAS FABIANO TEXEIRA
MURILLO TARQUINIO LUISI**

**PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS –
ESTUDO DE CASO DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO ITAPANHAÚ**

SÃO CAETANO DO SUL

2018

FÁBIO ZACARIAS PEREIRA
LEONARDO SANCHES PREVITI
LUCAS FABIANO TEXEIRA
MURILLO TARQUINIO LUISI

**PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS –
ESTUDO DE CASO DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO ITAPANHAÚ**

Trabalho de graduação apresentado a Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof.: MSc Carlos Alberto de Moya Figueira Netto

SÃO CAETANO DO SUL

2018

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Mauá de Tecnologia, seu corpo docente, direção e administração que nos deram oportunidade, contribuíram para a nossa formação e desenvolvimento profissional necessário para a realização deste trabalho.

Ao nosso orientador MSc. Carlos Alberto de Moya Figueira Netto, pela competente orientação na elaboração deste trabalho.

Aos nossos familiares e amigos, por nos proporcionar o suporte necessário ao longo da graduação.

Itapanhaú, Y Tapuya Una - em tupi-guarani, o Rio dos Estrangeiros Negros, onde escravos eram transportados na época colonial. (BUENO, 2013)

RESUMO

O presente trabalho busca avaliar os impactos ambientais, sociais e econômicos envolvidos na transposição de bacias hidrográficas através da análise de uma Matriz de Decisão baseada nos parâmetros de quatro projetos de captação de água do rio Itapanhaú, em Bertioga, para abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. São eles: vazão da bacia doadora; vazão da bacia receptora; qualidade da água; impactos ambientais; interferência municipal; interferência estadual; custo da obra; importância da obra; limitações legais e institucionais; tecnologia empregada. Discutem-se também as diretrizes utilizadas em cada um dos planos propostos e sua evolução ao longo dos anos, conforme a atualização da legislação envolvida e das necessidades da população contemplada.

Palavras-chave: Transposição. Abastecimento de água. Bacias hidrográficas.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the environmental, social and economic impacts involved in transpositions of watersheds through a Decision Matrix analysis based upon parameters of four river Itapanhaú water catchment projects, in Bertioga, for water supply in the Metropolitan Region of São Paulo - RMSP. They are: flow rate of the donor watershed; flow rate of the receiver watershed; water quality; environmental impacts; county interference; state interference; cost of the work; importance of the work; legal and institutional limitations; technology used. The guidelines used in each proposed project and their evolution over the years are discussed as well, according to the updating of the involved legislation and the needs of the covered population.

Keywords: Transpositions. Water supply. Watersheds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1- LIGAÇÕES DE ÁGUA NA RMSP POR CATEGORIAS DE CONSUMO | 14 |
| Figura 2 - CURVA LOGÍSTICA | 18 |
| Figura 3 - PREVISÃO DA POPULAÇÃO POR EXTRAPOLAÇÃO GRÁFICA..... | 19 |
| Figura 4 - ESQUEMA DE UM PERFIL CREAGER | 20 |
| Figura 5 - ESQUEMA EM PLANTA E PERFIL DE UMA CALHA PARSHALL | 22 |
| Figura 6 - ESQUEMA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA RMSP..... | 23 |
| Figura 7 - MAPA COM O TRAJETO DA ADUTORA DO SISTEMA SÃO LOURENÇO | 26 |
| Figura 8 - PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA NOS ANOS DE 2013 E 2014..... | 27 |
| Figura 9 - GRÁFICO DE EMISSÕES DE POLUENTES VERSUS TEMPO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE DESENVOLVIMENTO | 28 |
| Figura 10 - DADOS DO CRU (1970 A 2000) E MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS BCM2, INCM3 E MIMR (B1 - 2041 A 2070)..... | 30 |
| Figura 11 - DADOS CRU (1970 A 2000) E MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS BCM2, INCM3 E MIMR (B2 - 2041 A 2070)..... | 31 |
| Figura 12 - RAZÃO ENTRE A VAZÃO DO CENÁRIO B1 E A VAZÃO DOS PERÍODOS DE REFERÊNCIA DE CADA MODELO. | 32 |
| Figura 13 - RAZÃO ENTRE A VAZÃO DO CENÁRIO A2 E A VAZÃO DOS PERÍODOS DE REFERÊNCIA DE CADA MODELO. | 32 |
| Figura 14 - (A) MUDANÇA RELATIVA (%) DAS VAZÕES DOS RIOS NO PERÍODO DE 1971-2000 ; (B) MUDANÇA RELATIVA (%) DAS VAZÕES DOS RIOS NO PERÍODO DE 2041-2060..... | 33 |
| Figura 15 - PREVISÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AMÉRICA DO SUL | 34 |
| Figura 16 - MAPA DAS UGRHI DO ESTADO DE SÃO PAULO. | 35 |
| Figura 17 - CRESCIMENTO DA VAZÃO DE ÁGUA PRODUZIDA PELO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO EM 11 PAÍSES DIFERENTES ENTRE 2010 E 2016..... | 39 |

| | |
|---|----|
| Figura 18 - VISÃO AÉREA DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO PEQUENO PARA O RIO GRANDE | 41 |
| Figura 19 — GRÁFICO DAS PERDAS DE ÁGUA REGISTRADAS PELA SABESP NA RMSP ENTRE 2004 E 2017. | 48 |
| Figura 20 - IMAGEM AÉREA DA TUBULAÇÃO DE LIGAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS RIO GRANDE E TAIACUPEBA. | 53 |
| Figura 21 – ESTRUTURA DA MATRIZ DE DECISÃO..... | 59 |
| Figura 22 - LOCALIZAÇÃO DO RIO ITAPANHAÚ | 60 |
| Figura 23 - CORTE DO RESERVATÓRIO E TUNEL DA VARIANTE I..... | 64 |
| Figura 24 - CORTE DO RESERVATÓRIO E TÚNEL DA VARIANTE II..... | 65 |
| Figura 25 - ESQUEMA DO SISTEMA PRODUTOR ALTO TIETÊ. | 67 |
| Figura 26 - VAZÕES MÉDIAS MENSAS E ANUAIS, VAZÃO MÍNIMA E Q90 DA SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÕES NATURAIS NA FOZ DO RIO ITAPANHAÚ | 77 |
| Figura 27 - PERMANÊNCIA DAS VAZÕES NA FOZ DO RIO ITAPANHAÚ..... | 78 |
| Figura 28 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO VAZÃO DA BACIA DOADORA. | 79 |
| Figura 29 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO VAZÃO DA BACIA RECEPTORA..... | 80 |
| Figura 30 - IMAGEM AÉREA DO MUNICÍPIO DE BERTIOGA | 81 |
| Figura 31 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO QUALIDADE DA ÁGUA..... | 82 |
| Figura 32 - ADUTORA AÉREA NA REGIÃO DE FLORESTA PARA A TRANSPOSIÇÃO DO RIO GUARATUBA, EM BERTIOGA. | 83 |
| Figura 33 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO IMPACTO AMBIENTAL..... | 84 |
| Figura 34 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO INTERFERÊNCIA MUNICIPAL..... | 86 |
| Figura 35 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO INTERFERÊNCIA ESTADUAL | 87 |

Figura 36 – GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO CUSTO DA OBRA..... 89

Figura 37 – MATRIZ DE DECISÃO FINAL..... 94

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- MATRIZ MULTICRITÉRIO DE ANÁLISE ENTRE DIFERENTES SOLUÇÕES PARA O ABASTECIMENTO | 42 |
| Tabela 2 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO VAZÃO DA BACIA DOADORA .. | 77 |
| Tabela 3 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO VAZÃO DA BACIA RECEPTORA..... | 78 |
| Tabela 4 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO QUALIDADE DA ÁGUA | 81 |
| Tabela 5 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO IMPACTO AMBIENTAL..... | 82 |
| Tabela 6 - ANÁLISE DO PERCENTUAL DE REDUÇÃO NA VAZÃO TOTAL DO RIO ITAPANHAÚ | 83 |
| Tabela 7 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO INTERFERÊNCIA MUNICIPAL..... | 84 |
| Tabela 8 - ANÁLISE DO ACRÉSCIMO DE VAZÃO NA ETA TAIACUPEBA..... | 85 |
| Tabela 9 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO INTERFERÊNCIA ESTADUAL..... | 86 |
| Tabela 10 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO CUSTO DA OBRA | 88 |
| Tabela 11 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO IMPORTÂNCIA DA OBRA..... | 89 |
| Tabela 12 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO LIMITAÇÕES LEGAIS E INSTITUCIONAIS | 89 |
| Tabela 13 - NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO TECNOLOGIA EMPREGADA.... | 90 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. OBJETIVO | 11 |
| 3. PESQUISA DE REFERÊNCIAS..... | 12 |
| 3.1 ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA POTÁVEL | 12 |
| 3.1.1 Manancial de captação..... | 12 |
| 3.1.2 Estudo de demanda de abastecimento..... | 13 |
| 3.1.3 Tratamento e distribuição | 20 |
| 3.2 CRISE HÍDRICA DA RMSP..... | 23 |
| 3.2.1 Mananciais utilizados para abastecimento da RMSP | 23 |
| 3.2.2 Possíveis soluções para a crise hídrica..... | 26 |
| 3.2.3 Obras e soluções para segurança hídrica da RMSP | 39 |
| 3.2.4 Programa de redução de perdas da SABESP | 45 |
| 3.3 TRANSPOSIÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS..... | 47 |
| 3.3.1 Conceito..... | 47 |
| 3.3.2 Impactos ambientais e socioeconômicos..... | 48 |
| 3.3.3 Exemplos de transposições | 49 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 52 |
| 4.1 PESQUISAS | 52 |
| 4.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO..... | 53 |
| 5. ESTUDO DE CASO | 54 |
| 5.1 RIO ITAPANHAÚ..... | 54 |
| 5.2 PROJETOS | 56 |
| 5.2.1 Plano HIBRACE | 56 |
| 5.2.2 Variante I - PDAA 2004..... | 57 |
| 5.2.3 Variante II - PDAA 2004 | 58 |

| | |
|--|----|
| 5.2.4 Projeto Atual em Licenciamento (2015) | 59 |
| 5.3 ANÁLISE DOS PROJETOS | 62 |
| 5.3.1 Plano HIBRACE | 62 |
| 5.3.2 Variante I - PDAA 2004 | 64 |
| 5.3.3 Variante II - PDAA 2004 | 66 |
| 5.4 MATRIZ DE DECISÃO | 70 |
| 5.4.1 Parâmetros e Pesos | 70 |
| 5.4.2 Concessão de notas | 75 |
| 5.4.3 Critério de Desempate | 91 |
| 5.4.4 Matriz Final | 91 |
| 6. CONCLUSÃO | 93 |
| 7. RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS | 96 |
| 8. REFERÊNCIAS | 97 |

1. INTRODUÇÃO

Durante os anos 2013, 2014 e 2015, a Região Metropolitana de São Paulo - RMSP sofreu um de seus maiores períodos de estiagem já registrados. A redução pluviométrica na RMSP gerou um problema gravíssimo de escassez de água nos seus principais reservatórios de captação. O risco de desabastecimento levou o Governo do Estado de São Paulo, em conjunto com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), a repensar a gestão de recursos hídricos.

Diversos projetos considerados estratégicos pela SABESP, que estiveram parados durante anos, como a transposição do rio Itapanhaú (Bertioga - SP) para o reservatório Biritiba (Biritiba Mirim - SP), foram retomados e considerados prioritários para que a segurança hídrica da RMSP fosse garantida. Esta obra, que a princípio tinha seu início programado para o ano de 2018, encontra-se atualmente embargada judicialmente devido a contestações do Ministério Público quanto aos relatórios de estudo de impactos ambientais do projeto. Percebe-se, pelas reações públicas ao empreendimento, um maior engajamento da sociedade nas questões sociais e ambientais envolvidas em obras deste porte.

Em consonância com estes novos padrões, torna-se imprescindível que as soluções utilizadas até então sejam atualizadas, levando-se estes fatores em conta, aumentando-se assim o grau de complexidade dos projetos desses empreendimentos. Com o estudo de caso servindo de base, a evolução estratégica e de gestão de transposição de bacias foi estudada, analisando-se as alterações feitas nos projetos do rio Itapanhaú ao longo dos últimos 40 anos.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é o de estudar as obras de transposição de bacias hidrográficas e como funcionam os sistemas de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, principalmente depois das obras executadas e medidas tomadas durante e após a crise hídrica, para entender a carência de um novo projeto desse tipo, levando em consideração o crescimento da região metropolitana e a necessidade de contenção de um novo período de seca como a que aconteceu em meados de 2014, mas também analisando como a cidade de Bertioga e a região seria lesada pela obra de transposição.

Com esse estudo, busca-se analisar as novas diretrizes para transposições na perspectiva política atual, em que as questões governamentais, sociais e ambientais adquirem mais importância que no passado. Com o estudo de caso da transposição do rio Itapanhaú servindo de base, a evolução estratégica e de gestão de empreendimentos deste porte foi estudada, analisando-se os quatro projetos idealizados para esta transposição por meio de uma Matriz de Decisão Multicritérios, para determinar qual destes foi a melhor versão idealizada.

3. PESQUISA DE REFERÊNCIAS

3.1 ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA POTÁVEL

3.1.1 Manancial de captação

Para garantir a segurança hídrica de uma população urbana, existem diversos meios de obtenção de água potável. As técnicas mais simples e, em geral, adotadas como primeira opção, envolvem captação de águas brutas superficiais (rios e lagos) ou subterrâneas (aquíferos). Como os recursos hídricos constituem bens públicos a que toda pessoa física ou jurídica tem direito ao acesso e utilização, cabe ao Poder Público a sua administração e controle. Se uma pessoa física ou jurídica quiser fazer uso das águas de um rio, lago ou mesmo de águas subterrâneas, terá que solicitar ao Estado uma autorização, concessão ou licença, o que é conhecido como outorga. (TSUTIYA, 2006)

A outorga de direito de uso ou interferência de recursos hídricos varia em cada estado do Brasil e é um ato administrativo, de autorização ou concessão, mediante o qual o Poder Público faculta ao outorgado fazer uso da água por determinado tempo e finalidade. Desta forma, depende de outorga a execução de obras ou serviços que possam alterar o regime, a quantidade e a qualidade de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos; a execução de obras para extração de águas subterrâneas; a derivação de água do seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo, para fins de abastecimento urbano, industrial, agrícola e outros; o lançamento de efluentes nos corpos d'água, como esgotos e demais resíduos líquidos tratados com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final (DAEE 2018). No Estado de São Paulo cabe ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE o poder outorgante, por intermédio do Decreto Estadual nº 41.258/96, de acordo com o artigo 7º das disposições transitórias da Lei Estadual nº 7.663/91, mas caso seja de interesse nacional a ANA é que se torna responsável.

O Ministério do Meio Ambiente – MMA denomina manancial de abastecimento público a fonte de água doce utilizada tanto para consumo humano como para desenvolvimento de atividades econômicas.

Por estar inserido em ambiente natural, as propriedades físico-químicas da água bruta dos mananciais estão sujeitas a muitas variações, como alteração da cor, odor, turbidez, acidez, dentre outros. Desta forma, deve-se garantir que a água seja tratada em Estações de Tratamento de Água (ETAs) próprias antes de ser distribuída para a população.

Considerando a questão de manutenção do manancial, é necessário que a conservação e proteção destas áreas seja feita de maneira adequada, caso contrário, além do perigo de ter a qualidade de suas águas afetadas por lançamentos de efluentes, o manancial estará passível de sofrer processos erosivos, que podem acarretar turbidez pelos sólidos em suspensão, dificultando o processo de tratamento de água na ETA e um acúmulo de sedimentos em seu fundo, reduzindo-se assim seu volume útil. A este evento dá-se o nome de assoreamento. Deve-se, portanto, evitar que as margens destes ambientes sejam ocupadas, sob risco de comprometimento de todo sistema de abastecimento a longo prazo.

Do ponto de vista estratégico, para que o sistema de abastecimento esteja sempre suprindo a demanda, é recomendado que sejam feitas periodicamente previsões de demanda da população atendida. Uma das soluções comuns para a regularização do fornecimento de água para abastecimento público é o represamento de corpos hídricos. As represas têm a finalidade de acumular água em períodos chuvosos de forma que seja possível utilizá-la durante o período seco ou numa eventual estiagem. Além disso, podem ser utilizadas como mecanismos de controle de inundações em eventos pluviométricos extremos, retendo parte da vazão que seria transferida a rios, córregos e centros urbanos.

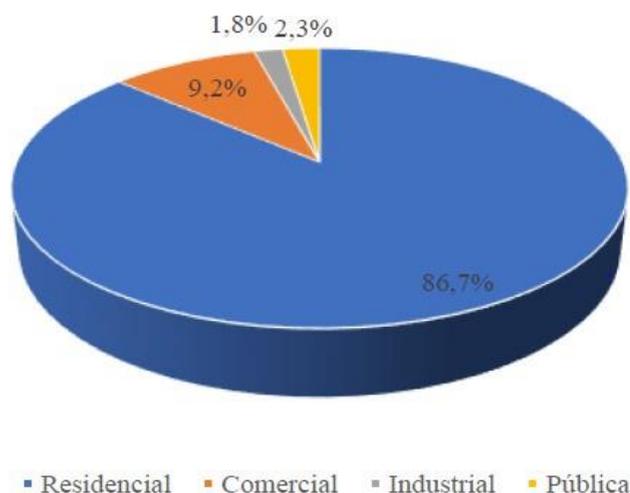
Por exemplo, na RMSP, os reservatórios Billings e Guarapiranga desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento econômico da metrópole. Ambos foram concluídos em meados da década de 1920 e até hoje são utilizados para abastecimento, ainda que sua importância tenha sido reduzida após a construção de outros mananciais que hoje compõem o Sistema Integrado Metropolitano, e no caso da Billings, o controle de enchentes do Rio Pinheiros por meio de reversão nas usinas elevatórias de Traição e Pedreira.

3.1.2 Estudo de demanda de abastecimento

Quando é feito o estudo de concepção de sistema de abastecimento de água, a primeira atividade básica a ser realizada é a caracterização da área de estudo, diagnosticando características físicas do local de atendimento, aspectos socioeconômicos da região, sistemas de infraestrutura e condições sanitárias. Todos estes aspectos analisados interferem diretamente no cálculo da demanda de região estudada, visto que o consumo pode ser segmentado principalmente entre as categorias: doméstico, comercial, público e industrial.

Esta divisão baseia-se no fato de que essas categorias são facilmente detectáveis e, também, devido à necessidade de estabelecimento de políticas tarifárias e de cobranças específicas. Por exemplo, a Figura 1 apresenta a distribuição percentual do número de ligações de água na RMSP por categorias de consumo.

Figura 1- LIGAÇÕES DE ÁGUA NA RMSP POR CATEGORIAS DE CONSUMO.



FONTE: SABESP, 2016.

A análise e previsão do consumo de água estão presentes na fase de planejamento e gerenciamento do sistema de abastecimento, sendo assim um dos fatores de fundamental importância. As operações dos sistemas, assim como as suas ampliações e melhorias, são baseadas na demanda de água da região.

Nesta fase, é fundamental ressaltar a importância das variações no consumo, pois em um sistema de abastecimento, a quantidade de água consumida varia continuamente em função do tempo, hábitos da população, condições climáticas, entre outros fatores.

Com isso, as obras de abastecimento de água das cidades devem ser projetadas para atender a uma população, em linhas gerais, maior que a atual. Esta projeção se dá devido ao crescimento demográfico previsto ao longo dos anos, sendo este o principal fator no estudo da demanda. Para Tsutiya (2006), esse período de tempo chama-se período do projeto ou plano do projeto, ou ainda, horizonte do projeto. Esse período varia entre 20 e 30 anos, sendo comum adotar-se o período de 20 anos. Contudo, se as obras previstas no projeto forem construídas para atender ao horizonte de projeto, nos anos iniciais, haverá uma ociosidade no sistema. Para que isso não

ocorra, é fundamental planejar as obras de modo que estas possam ser subdivididas e executadas em etapas, de acordo com o crescimento da demanda atual

Para Alcântara (2002), a projeção da população para o dimensionamento de um sistema de abastecimento de água deve levar em consideração as especificidades da área de projeto, suas características socioeconômicas, urbanística e a dinâmica do uso e ocupação do solo. Desta forma, a elaboração das projeções para projetos de saneamento deve considerar:

- Dados populacionais do município e distritos dos últimos quatro censos demográficos, quanto à população residente urbana e rural e número de habitantes por domicílio, considerando população residente e domicílios ocupados;
- Os setores censitários da área de projeto, a população residente e o número de domicílios ocupados, pelo menos dos últimos dois censos.
- Os dados atuais do número de ligações de água e luz (residenciais, comerciais, industriais e públicas), bem como os índices de atendimento divulgados pelas concessionárias;
- Dados atualizados do cadastro imobiliário da prefeitura municipal;
- Pesquisa de campo com amostra representativa da área de projeto para consolidar parâmetros urbanísticos e demográficos da ocupação atual, assim como diferentes usos, padrão econômico, tamanho médio do lote, domicílios por lote, habitantes por domicílio, índice de verticalização, percentual de área institucional, no caso de municípios sem Plano Diretor e/ou com cadastro imobiliário desatualizado ou também em momentos muito distantes do último levantamento censitário;
- Planos e projetos (industriais, habitacionais, transportes, agropecuários) que existam para a região, que possam afetar a dinâmica populacional e o uso e ocupação do solo;
- O Plano Diretor do município, a sua real utilização e atualidade, bem como as diretrizes futuras.
- A situação socioeconômica do município e seu papel na região em que se insere.

Com os dados censitários e a população atual, inferida por meio das variáveis relativas, a projeção da população deve ser feita utilizando a expressão matemática que melhor se ajuste aos dados aferidos.

Os métodos para estudo demográfico são diversos, destacando-se os métodos dos componentes demográficos, matemáticos e de extrapolação gráfica.

O método dos componentes demográficos considera a tendência passada verificada pelas variáveis demográficas: fecundidade, mortalidade e migração, e são formuladas hipóteses de comportamento futuro. A expressão geral da população de uma comunidade, em função do tempo, pode ser expressa da seguinte forma:

$$P = P_0 + (N - M) + (I - E) \quad (1)$$

onde: P = população da data t ;

P_0 = população na data inicial t_0 ;

N = nascimentos (no período $t - t_0$);

M = óbitos;

I = imigrantes no período;

E = emigrantes no período;

$N - M$ = crescimento vegetativo no período;

$I - E$ = crescimento social no período.

O método dos componentes demográficos parte de uma divisão da população de base em grupos ou subgrupos homogêneos. Para cada grupo são aplicadas as correspondentes taxas de fecundidade, mortalidade e migração com o intuito de calcular a população do próximo período de projeção, período este que será a base da população para o período seguinte. Sendo este procedimento repetido até a extensão final a ser projetada.

Para os métodos matemáticos, a previsão da população futura é estabelecida através de uma equação matemática, cujos parâmetros são obtidos a partir de dados previamente obtidos. Os métodos matemáticos a serem discutidos são: aritmético, geométrico e de curva logística.

O método aritmético pressupõe uma taxa de crescimento constante para os anos que se seguem, a partir de dados conhecidos, por exemplo, a população do último censo. Sendo representado matematicamente da seguinte forma:

$$\frac{dP}{dt} = k_a \quad (2)$$

nos quais dP/dt representa a variação da população (P) por unidade de tempo (t), e k_a é uma constante. Considerando que P_1 é a população do penúltimo censo (ano t_1) e P_2 , a população do último censo (ano t_2), tem-se:

$$\int_{P_2}^{P_1} dP = k_a \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (3)$$

Integrando entre os limites definidos, tem-se:

$$P_2 - P_1 = k_a (t_2 - t_1) \quad (4)$$

$$k_a = \frac{(P_2 - P_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

Utilizando-se a equação (5), chega-se à expressão geral do método aritmético:

$$P = P_2 + k_a (t_2 - t_1) \quad (6)$$

onde t representa o ano da projeção.

Neste método, admite-se que a população varie linearmente com o tempo e pode ser utilizado para a previsão populacional para um período consideravelmente pequeno (1 a 5 anos).

O método geométrico considera a mesma porcentagem de aumento da população para períodos de tempo iguais. Pode ser representado da seguinte forma:

$$\frac{dP}{dt} = k_g P \quad (7)$$

onde as variáveis são as mesmas já definidas anteriormente, exceto k_g , que representa a taxa de crescimento geométrico. Integrando a equação (1.7) tem-se:

$$\int_{t_1 P}^{t_2 dP} = \int_{t_1}^{t_2} k_g dt \quad (8)$$

$$\log P_2 - \log P_1 = k_g (t_2 - t_1) \quad (9)$$

$$k_g = \frac{\log P_2 - \log P_1}{t_2 - t_1} \quad (10)$$

A expressão geral do método geométrico para estimar a população para o ano t é dado pela equação (11) ou (12).

$$\log P = \log P_2 + k_g (t_2 - t_1) \quad (11)$$

$$P = P_2 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{t-t_2}{t_2-t_1}} \quad (12)$$

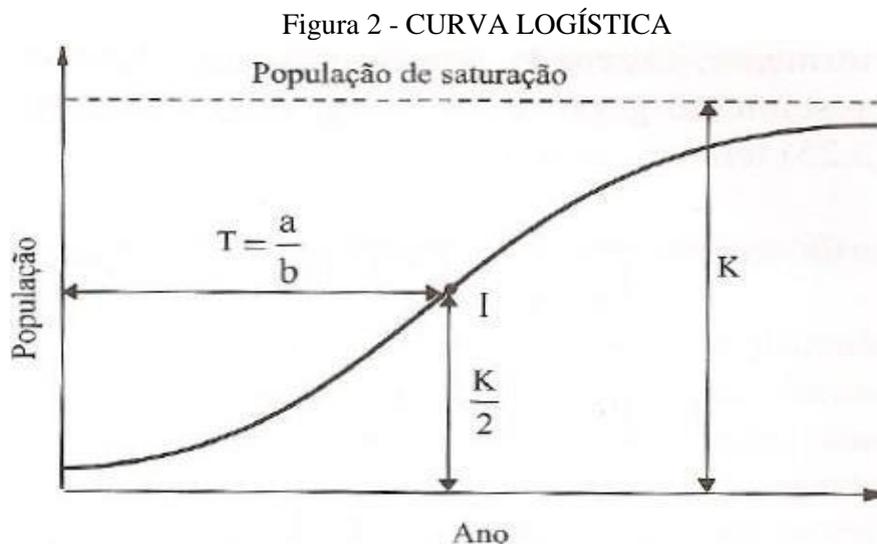
Neste caso foi utilizado o logaritmo na base 10, para a solução da equação (7). Caso seja utilizado o logaritmo neperiano, a expressão geral do método geométrico será dada pelas equações (13) e (14), conforme deduzido por Tsutiya e Além Sobrinho (1999).

$$P = P_2 e^{k_g(t-t_2)} \quad (13)$$

$$k_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (14)$$

No caso do método da curva logística, admite-se que o crescimento da população obedece a uma relação matemática do tipo curva logística, obtendo uma equação que a população cresce assintoticamente em função do tempo para um valor de saturação limite (K).

A curva logística possui três trechos distintos: o primeiro corresponde a um crescimento acelerado, o segundo a um crescimento retardado e o último a um crescimento tendente à estabilização, entre os dois primeiros trechos, há um ponto de inflexão, como pode-se observar na Figura 2.



FONTE: Tsutiya, 2006.

A equação logística é da seguinte forma:

$$P = \frac{k}{1 + e^{a-bT}} \quad (15)$$

onde: a e b são parâmetros e e a base dos logaritmos neperianos. O parâmetro a é um valor tal que, para $T = a/b$, há uma inflexão (mudança no sentido da curvatura) na curva; o parâmetro b é a razão de crescimento da população e T representa o intervalo de tempo entre o ano da

projeção e o t_0 . Esses parâmetros são determinados a partir de três pontos conhecidos da curva $P_0(t_0)$, $P_1(t_1)$ e $P_2(t_2)$ igualmente espaçados no tempo, isto é, $t_1 - t_0 = t_2 - t_1$. Os pontos P_0 , P_1 e P_2 devem ser tais que $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 P_2 > P_1^2$.

Os parâmetros da equação da curva logística são definidos através das expressões que se seguem:

$$K = \frac{2P_0P_1P_2 - (P_1^2)(P_0 + P_2)}{P_0P_2 - (P_1^2)} \quad (16)$$

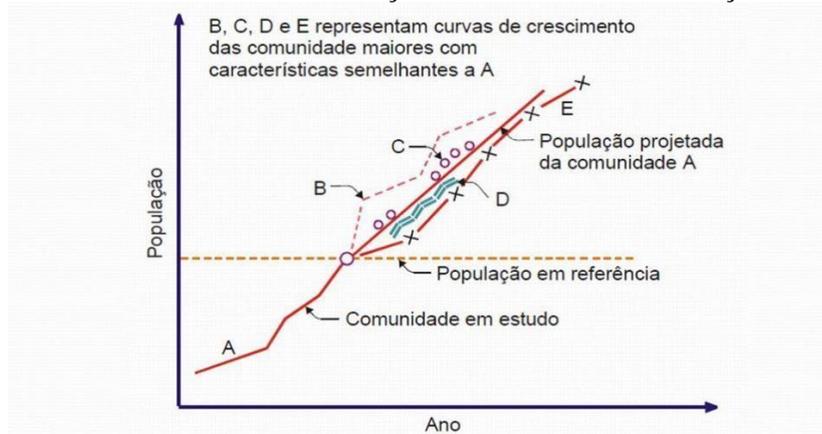
$$b = -\frac{1}{0,4343d} \log \frac{P_0(K - P_1)}{P_1(K - P_0)} \quad (17)$$

$$b = -\frac{1}{0,4343d} \log \frac{K - P_0}{P_0} \quad (18)$$

sendo d , o intervalo constante entre os anos t_0 , t_1 e t_2 .

O método da extrapolação gráfica pode ser utilizado para estimar a população por um período: consiste no traçado de uma curva arbitrária, que se ajusta aos dados já observados, de populações de outras comunidades com características semelhantes ao estudo, mas que tenham uma população maior (Figura 3).

Figura 3 - PREVISÃO DA POPULAÇÃO POR EXTRAPOLAÇÃO GRÁFICA.



FONTE: Tsutiya, 2006.

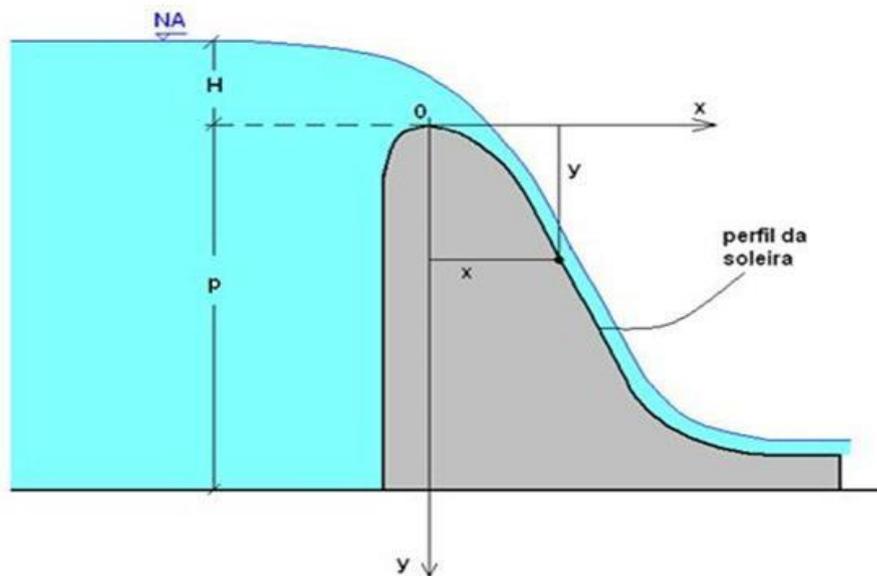
3.1.3 Tratamento e distribuição

O transporte da água é dividido em duas partes: da captação até a estação de tratamento (ETA) e da ETA até a distribuição domiciliar e industrial.

A captação de água pode ser feita de diversas maneiras, a depender da fonte hídrica. No caso de fontes fluviais, é necessário que seja construída uma barragem de elevação de nível. Este barramento deve ser executado ao longo de toda a seção transversal do rio, de forma que seja atingida a cota mínima de projeto para captação. A depender da vazão captada, esta barragem pode vir a dar origem a um reservatório, inundando-se assim parte da superfície da bacia hidrográfica, como foi feito por exemplo no Sistema Alto Tietê.

Deve-se atentar especialmente para o desenho do perfil do vertedouro da barragem, no caso de estruturas de pequeno porte. A depender da configuração escolhida, os processos erosivos do fundo de rio podem ser acentuados ou controlados. Richter (1991) sugere o uso do perfil Creager (figura 4) para que se evite a ocorrência de erosão retrógrada.

Figura 4 - ESQUEMA DE UM PERFIL CREAGER.



FONTE: Tsutiya, 2006.

A montante do barramento, deve-se projetar um canal de desvio de captação, com seção adequada à vazão de projeto. Este canal pode ser feito em condutos livres ou forçados, a depender das características do empreendimento. Sua função é desviar parte da vazão do rio

para a ETA, onde será feito todo o tratamento físico-químico da água para assegurar-se sua potabilidade.

Nesta fase da adução, a água possui turbidez, causada pela presença de argilas, matéria orgânica, microrganismos, cor, e ocasionalmente odor, principalmente se houver contaminação por efluentes.

Na captação, a água canalizada passa por duas grades, uma grossa e outra fina, para efetuar a retenção de macro sólidos suspensos no rio. Após a filtração inicial, o canal é derivado para um reservatório denominado caixa de areia, onde as partículas mais densas de solo são sedimentadas.

Projeta-se neste ponto, caso seja necessário, um sistema de estações-elevatórias, responsável por bombear a água para a estação de tratamento.

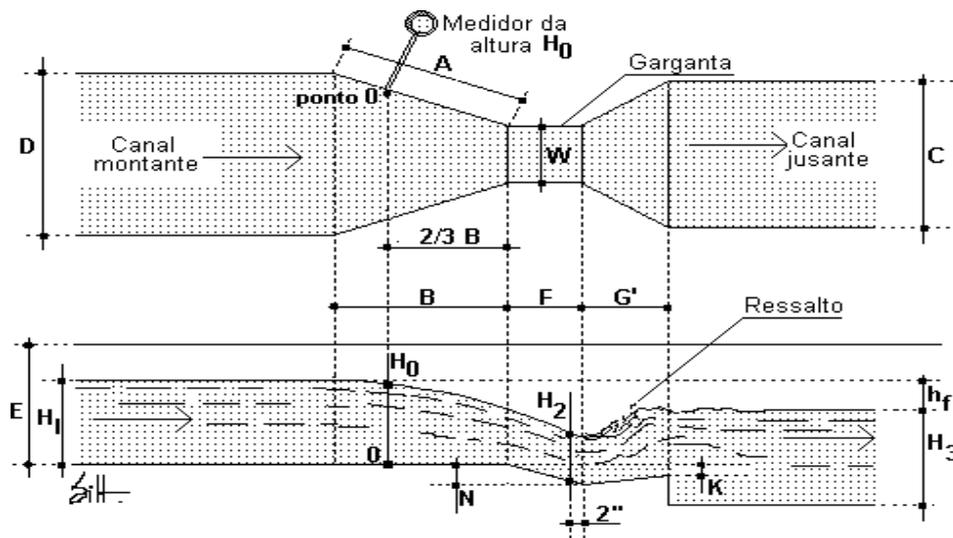
Em seguida, dá-se início ao processo de tratamento propriamente dito. De acordo com Seckler (2017), algumas ETAs adicionam agentes oxidantes à água na fase de pré-tratamento para que íons dissolvidos, como Fe^{2+} , sofram oxidação e precipitem.

De acordo com a norma NBR 12216/92, referente a projetos de estações de tratamento de água para abastecimento público, na coagulação, produtos químicos, denominados coagulantes, são empregados para desestabilizar e agregar partículas de pequeníssimo diâmetro chamadas de coloides. As partículas coloidais podem ser átomos, íons ou moléculas, com diâmetro variando entre 1 nanômetro e 1 micrômetro, que não são consideradas como partículas dissolvidas nem como em suspensão. A adição de coagulantes à mistura possibilita a neutralização das forças elétricas superficiais e anula as forças repulsivas atuantes. Este fenômeno químico possibilita que os coloides, antes dispersos, sejam aglomerados e filtrados mecanicamente através de sedimentação, filtração ou flotação.

Para que o processo seja feito adequadamente, é necessário que os mecanismos de coagulação sejam pensados desde a concepção da estação. É fundamental que o coagulante seja dispersado quase que instantaneamente na água bruta. Para isso, deve ser assegurado que a mistura seja rápida. Isso pode ser feito através de singularidades na canalização ou pela formação de ressalto hidráulico, um fenômeno gerado pela turbulência do escoamento.

O ressalto pode ser forçado pela mudança de declividade do fundo do canal, pelo emprego de misturadores mecânicos ou pelo uso de calha Parshall (Figura 5), que é o meio mais utilizado para se criar um ressalto em ETA.

Figura 5 - ESQUEMA EM PLANTA E PERFIL DE UMA CALHA PARSHALL.



ESQUEMA DE UMA CALHA PARSHALL CONVENCIONAL

FONTE: Tsutiya, 2006.

Concluída a coagulação, dá-se continuidade ao tratamento convencional no processo de floculação. Este processo é puramente físico, onde há aglomeração das partículas coloidais desestabilizadas. Para tanto, a mistura deve ser lenta. A redução do gradiente de velocidade do fluxo deve ser feita de maneira gradual. A escolha do mecanismo de floculação depende principalmente do espaço físico disponível. As chicanas, apesar de mais vantajosas do que floculadores mecânicos em relação ao custo (dependem apenas de processos hidráulicos), necessitam de muito espaço para serem eficientes.

A mistura deve ser rápida o bastante para garantir o choque entre partículas coloidais, porém lenta o suficiente para que não haja o rompimento dos flocos devido às tensões de cisalhamento hidrodinâmico.

Após a formação dos flocos, o sistema é direcionado para os tanques de sedimentação. Tal qual a floculação, o processo desta fase é apenas físico. As partículas sólidas em suspensão são separadas da água devido ao efeito gravitacional e se acomodam no fundo do reservatório, enquanto a água entra em canaletas na parte superior. Existe também o processo de flotação que, por meio de tubulações, insere bolhas de ar no tanque fazendo com que os flocos subam para a superfície e sejam retirados na parte superior. Porém esse método é pouco utilizado já que há um gasto para operar que não existe na sedimentação por gravidade.

Feita a decantação, a água passa pelo processo de filtração para retirar o máximo de impurezas que não tenham sido removidas nos processos anteriores. Após isso, passa-se para a fase final do tratamento, onde a água é desinfetada, tem a adição de flúor e é estabilizada quimicamente.

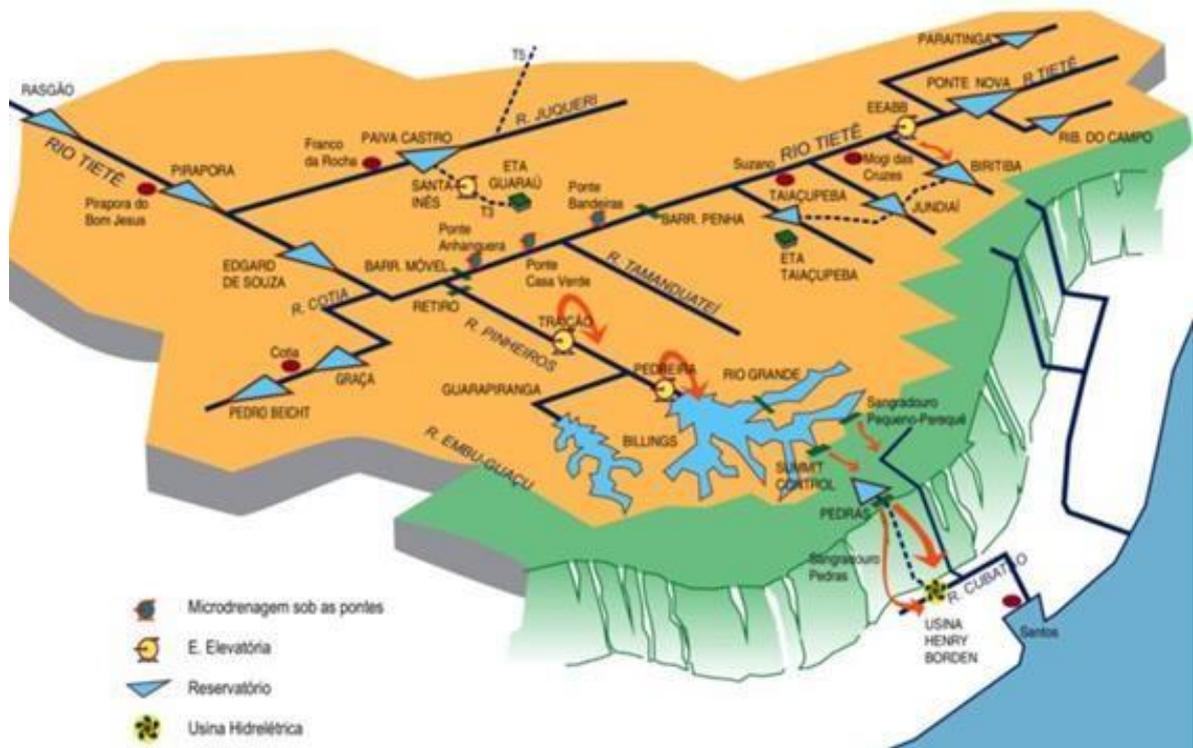
Assim que o tratamento for finalizado, a água tratada é transportada para os reservatórios urbanos através de um sistema de adução por canais forçados, evitando-se sua contaminação com o ambiente externo. Dos reservatórios a água segue para as residências também por meio de tubulações pressurizadas.

3.2 CRISE HÍDRICA DA RMSP

3.2.1 Mananciais utilizados para abastecimento da RMSP

Na RMSP, a principal fonte utilizada para abastecimento público é a água armazenada em barragens ou represas. A SABESP possui 8 sistemas de abastecimento que podem ser vistos na Figura 6, sendo eles, o Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Rio Grande, Rio Claro, Alto Cotia, Baixo Cotia, Ribeirão da Estiva e o novo Sistema São Lourenço.

Figura 6 - ESQUEMA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA RMSP.



FONTE: DAEE, 2016.

a) O Sistema Cantareira é composto por 6 represas, que juntas possuem uma capacidade de armazenamento de quase 1 trilhão de litros de água e, por isso, é o maior sistema produtor da RMSP. As represas Jaguari, Jacareí, Cachoeira e Atibainha estão localizadas na bacia hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, enquanto que as represas Paiva Castro e Águas Claras se localizam na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. As represas são interligadas por cerca de 28 quilômetros de túneis e canais, e contam com uma estação elevatória com capacidade para impulsar 33 mil litros de água por segundo em um desnível geográfico de cerca de 120 metros. O tratamento é feito na estação de tratamento do Guaraú, a maior instalação de tratamento da Grande São Paulo. (SABESP 2017)

b) Composto pelas represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça, o sistema Alto Cotia possui capacidade de armazenamento de cerca de 17 bilhões de litros. A água armazenada passa por um canal natural até a represa Cachoeira da Graça. Por estar na reserva florestal Morro Grande, de propriedade e gestão da SABESP, a água bruta do sistema Alto Cotia apresenta uma excelente qualidade. O tratamento é feito na estação de mesmo nome cuja capacidade é de 1,2 mil litros de água por segundo. Atualmente o complexo atende a 360 mil pessoas de Cotia, Vargem Grande Paulista, Embu - Guaçu e parte de Embu. (SABESP, 2017)

c) O Sistema Baixo Cotia está localizado na bacia hidrográfica do Alto Tietê na divisa dos municípios de Carapicuíba e Barueri. A água captada na represa Isolina Inferior é encaminhada para a Estação de Tratamento de Água Baixo Cotia, que possui capacidade de produção de 1,050 litros de água por segundo. A água é distribuída para parte dos municípios de Itapevi, Barueri e Santana do Parnaíba. (SABESP 2017)

d) Composto pelas represas Guarapiranga, Capivari e Billings (Braço Taquacetuba), o Sistema Guarapiranga é de propriedade da Empresa Metropolitana de Águas e Energia – EMAE, e possui uma capacidade de armazenamento de 171 bilhões de litros de água, formando o terceiro maior Sistema Produtor da Região Metropolitana de São Paulo. Seus principais afluentes são os Rios Embu Guaçu, Embu Mirim e Parelheiros, bem como as águas transferidas das represas Billings e do rio Capivari por meio de estações elevatórias. A água captada na represa é encaminhada para a Estação de Tratamento de Água do Alto da Boa Vista responsável pelo abastecimento público de grande parte da zona sul e sudoeste da Grande São Paulo. Atualmente a produção alcança 15 mil litros de água por segundo (SABESP, 2017).

e) O Sistema Produtor Rio Claro é composto pela represa do Ribeirão do Campo e recebe também água proveniente da transposição do Rio Guaratuba. O Rio Claro encontra-se no

extremo leste da RMSP, cuja bacia de contribuição ocupa uma área de 173,9 km² distribuída nos municípios de Salesópolis, Biritiba e Bertioga. Na Estação Casa Grande, situada em Biritiba – Mirim, são tratados 4 mil litros de água por segundo para atender a parte da zona leste de São Paulo e os municípios de Ferraz de Vasconcelos e Itaquaquecetuba. (SABESP, 2017)

f) O sistema Produtor Alto Tietê é composto pelas represas de Ponte Nova, Paraitinga, Biritiba, Jundiaí e Taiapuêba que juntas possuem uma capacidade de armazenamento de cerca de 575 bilhões de litros, formando o segundo maior sistema da RMSP. Inicialmente composto pelas represas de Taiapuêba e Jundiaí, o Sistema Alto Tietê, teve seu início de operação em 1992. Com a demanda crescente da população da Região Metropolitana o sistema foi ampliado com a incorporação às represas de Paraitinga, Ponte Nova e Biritiba. A interligação entre as barragens é realizada através de túneis, canais e estações elevatórias. Além do abastecimento público, o Sistema Alto Tietê atende também ao controle de cheias da região, pois armazena grande quantidade das águas provenientes das chuvas ocorridas em suas cabeceiras. A água do Sistema Alto Tietê é captada na represa de Taiapuêba e tratada pela estação de tratamento de água de mesmo nome. A capacidade de produção é de 15 mil litros de água por segundo para atender a 4,2 milhões de habitantes da zona leste de São Paulo e dos municípios de Arujá, Itaquaquecetuba, Poá, Ferraz de Vasconcelos e Suzano, além de parte de Mogi das Cruzes e de Guarulhos. (SABESP, 2017).

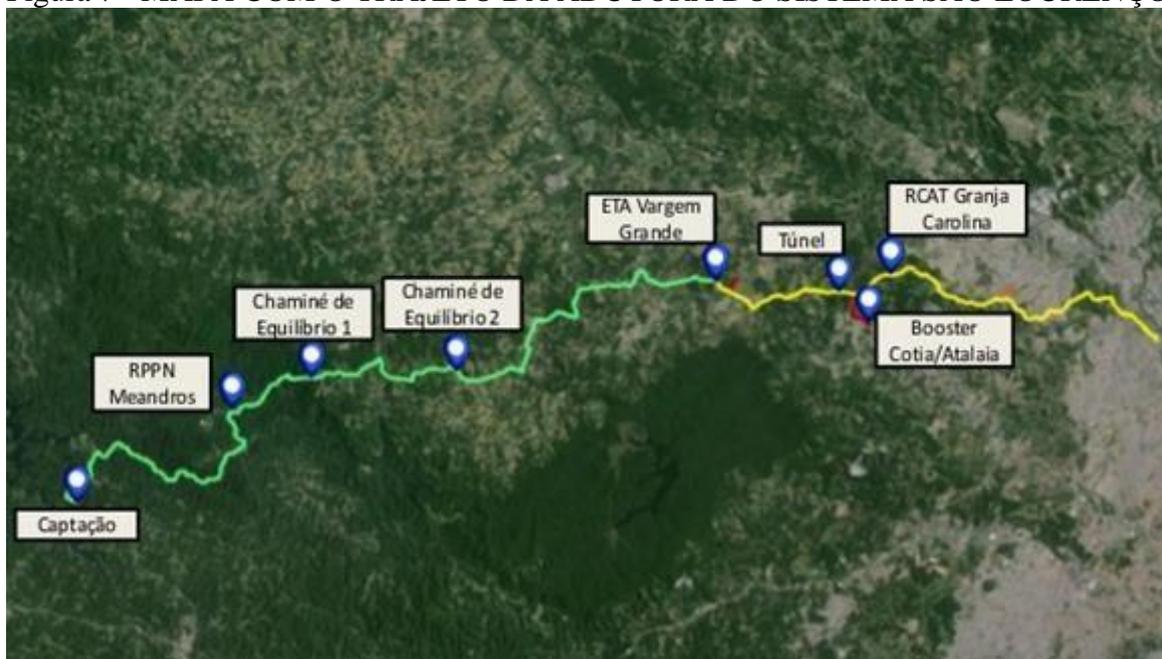
g) O Sistema Produtor Ribeirão da Estiva faz a captação diretamente no manancial de mesmo nome. O reservatório foi construído na década de 60 e, a partir de 1973, passou a ser utilizado pelo município de Rio Grande da Serra para seu abastecimento público. A água captada é encaminhada para a estação Ribeirão da Estiva, que possui capacidade de tratamento de até 100 litros de água por segundo. Além de Rio Grande da Serra, o sistema também abastece parte do município de Ribeirão Pires.

h) Formado pela compartimentação do braço do Rio Grande na represa Billings, o sistema Rio Grande tem capacidade de 11,21 bilhões de litros de água e está localizado próximo à Rodovia Anchieta. O tratamento de água é feito na estação Rio Grande onde são produzidos 5,5 mil litros de água por segundo para atender aos municípios de São Bernardo do Campo, Santo André e Diadema.

i) O Sistema São Lourenço foi inaugurado em 2018. A captação ocorre na represa Cachoeira do França, no município de Ibiúna. A vazão retirada é de 6,4 mil litros de água por segundo e passa por 49 km de tubulações até a nova estação de tratamento, em Vargem Grande Paulista.

Assim, a região oeste da Grande São Paulo, que recebia água dos sistemas Cantareira e Baixo e Alto Cotia, passou a ser atendida pelo Sistema Produtor São Lourenço que está indicado na Figura 7.

Figura 7 - MAPA COM O TRAJETO DA ADUTORA DO SISTEMA SÃO LOURENÇO.



FONTE: SABESP, 2018

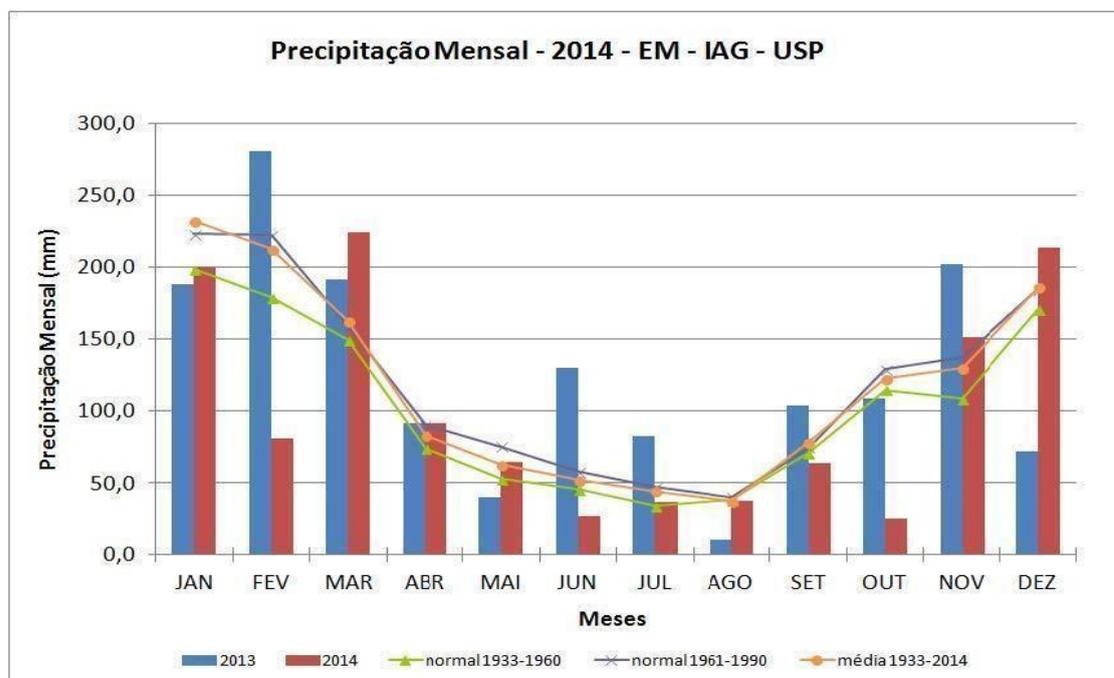
3.2.2 Possíveis soluções para a crise hídrica

Após o prolongado período de estiagem vivido pela RMSP nos anos de 2013 e 2014, a SABESP, responsável pelo abastecimento das cidades afetadas, reestruturou todo o planejamento estratégico do sistema. Alguns projetos considerados não prioritários até então, como a interligação Jaguari-Atibainha e a transposição do rio Itapanhaú, por exemplo, foram adiantados.

À época, uma das justificativas apresentadas, tanto pelo Governo do Estado de São Paulo como pela própria SABESP para a escassez de água, foi a estiagem atípica do período. De acordo com as medições do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG- USP), os anos de 2013 e 2014 apresentaram precipitações médias inferiores à média histórica (1933-2014).

Em 2013, nos meses de janeiro e dezembro, período dito chuvoso, a situação foi especialmente dramática. No ano seguinte, metade dos 12 meses (fevereiro, junho, julho, agosto, setembro e outubro) ostentou precipitação abaixo da média histórica, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA NOS ANOS DE 2013 E 2014



FONTE: IAG-USP, 2014

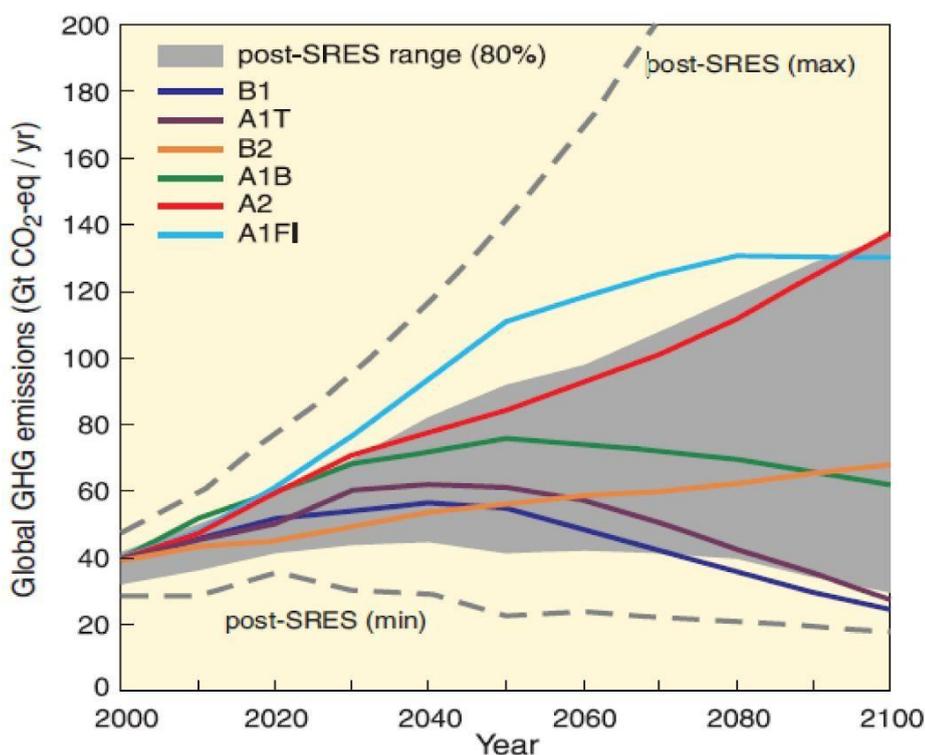
Segundo o Relator Especial do Direito Humano à Água e ao Esgotamento Sanitário das Nações Unidas, Leo Heller, entretanto, utilizar eventos meteorológicos extremos como escusa denota “falta de planejamento dos gestores”. A mudança climática é um fenômeno conhecido e fartamente discutido. Portanto, “não é mais aceitável um discurso (...) de que as pessoas foram pegas de surpresa. ”. (CANCIAN,2018).

Fundamentando a opinião do especialista, a Agência Nacional das Águas - ANA vem produzindo uma série de documentos que buscam estipular diretrizes de projeto para contornar a imprevisibilidade decorrente das alterações climáticas. Apresenta-se a seguir um estudo de caso elaborado pela ANA com o Banco Mundial numa região de semiárido brasileiro (por enquanto a única com estudos mais aprofundados nesta questão), com o intuito de expor as variáveis envolvidas no estudo de demanda de abastecimento num contexto de mudanças climáticas. Os autores buscaram analisar os impactos destas mudanças sobre a hidrologia das bacias hidrográficas, a demanda e alocação de água e desenvolvimento socioeconômico na área.

Foram escolhidas a Bacia do Rio Jaguaribe, no Ceará, e a Bacia do Rio Piranhas-Açu, entre o Rio Grande do Norte e Paraíba (ANA, 2016).

A metodologia empregada no relatório baseou-se nos modelos climáticos globais (MCG) usados no Relatório de Avaliação No. 4 (AR-4) do Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas (ou IPCC, na sigla em inglês). O período de previsão escolhido foi de 2041-2070. As simulações elaboradas para o documento incluíram dois cenários diferentes de emissões de poluentes, denominados A2 (economias insustentáveis e voltadas para o crescimento regional e demografia continuamente crescente) e B1 (ênfase em soluções globais para estabilidade econômica, social e ambiental e demografia em ritmo de crescimento desacelerado), como mostrado na Figura 9.

Figura 9 - GRÁFICO DE EMISSÕES DE POLUENTES VERSUS TEMPO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE DESENVOLVIMENTO



FONTE: IPCC, 2007

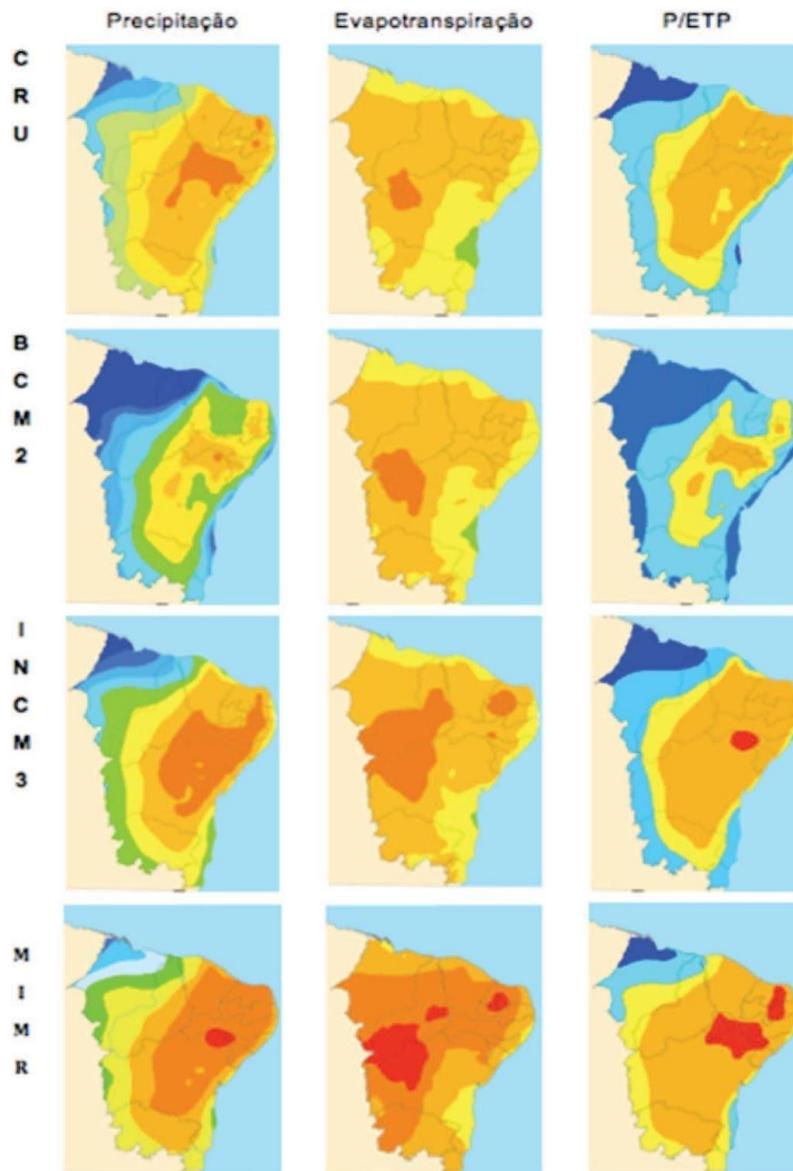
Com base nestes parâmetros, o estudo elaborado pela ANA/ Banco Mundial estipulou três modelos diferentes, denominados BCM2, MIMR e INCM3, para os cenários A2 e B1. Cada modelo gerou previsões para pluviosidade média anual, evapotranspiração potencial média anual e a relação de pluviosidade média por evapotranspiração. Quando esta relação atinge

valores menores que 1, o clima é considerado subúmido. Seus resultados foram corrigidos de acordo com o desempenho de cada modelo em atender às estatísticas do período histórico (modelo CRU), compreendido entre 1971-2000. Desta forma, calibrou-se o modelo matemático baseando-se em dados já conhecidos, para evitar possíveis incongruências.

Hoje, o Nordeste apresenta regiões de semiárido (P/ETP entre 0,2 e 0,5) porém nenhuma área considerada árida (P/ETP entre 0,05 e 0,2). Analisando-se as Figuras 10 e 11 é possível verificar que a maior discordância entre os modelos ocorre no noroeste da Região Nordeste, fora das bacias consideradas para o estudo. Um outro fator a ser considerado é o dado de pluviosidade média anual, incapaz de refletir variações no regime de pluviosidade intra-anual. Ou seja, existe a possibilidade de haver um aumento do período seco paralelamente a uma concentração das taxas de pluviosidade num período menor de tempo, resultando assim numa taxa média anual similar às taxas do período histórico, apesar de alterações consideráveis na configuração climática da região.

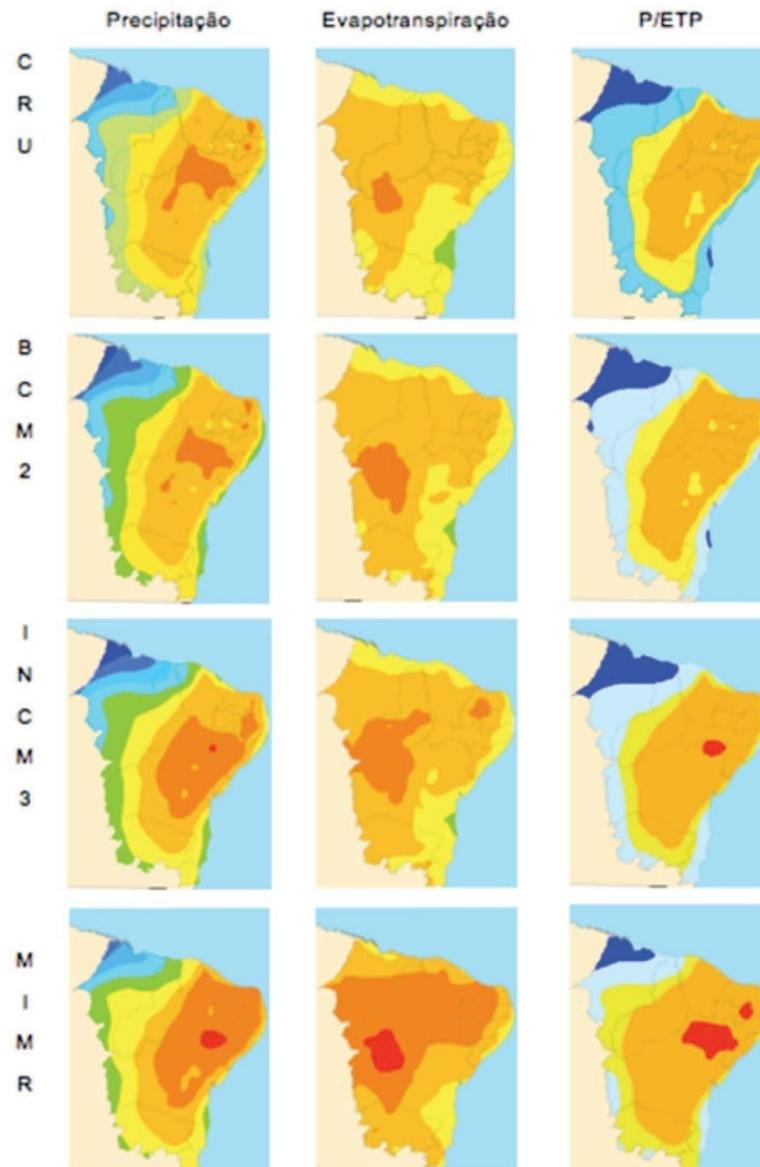
Mesmo levando este fator em conta, é possível concluir, pela leitura das Figuras 10 e 11, que a região Nordeste será sensivelmente afetada pelas mudanças climáticas, tanto no cenário A2 quanto no B1. O modelo MMR mostra, de maneira mais expressiva que os demais, uma intensificação das condições de aridez da região centro-leste nordestina, mesmo nas condições mais favoráveis do cenário B1.

Figura 10 - DADOS DO CRU (1970 A 2000) E MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS BCM2, INCM3 E MIMR (A2 - 2041 A 2070).



FONTE: ANA, 2016

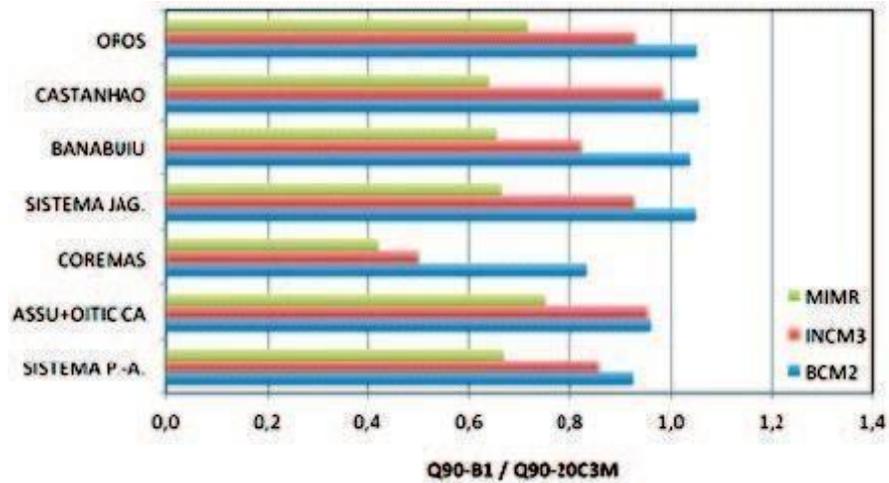
Figura 11 - DADOS CRU (1970 A 2000) E MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS BCM2, INCM3 E MIMR (B1 - 2041 A 2070).



FONTE: ANA, 2016

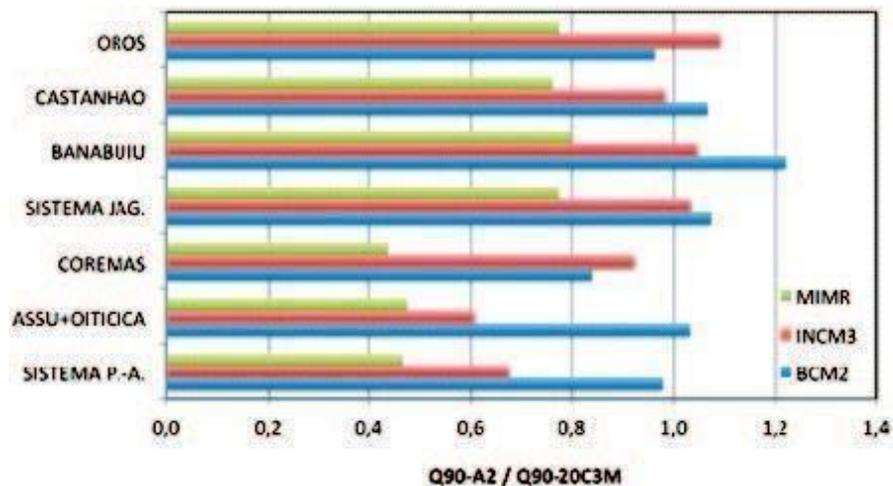
Como consequência direta da alteração pluviométrica e de evapotranspiração potencial da região, todo o sistema de vazões das bacias hidrográficas será afetado. De maneira análoga ao estudo meteorológico da região, os autores determinaram a vazão com garantia de 90% (Q90) para os reservatórios correspondentes a cada hidrossistema. Os resultados estão apresentados nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - RAZÃO ENTRE A VAZÃO DO CENÁRIO B1 E A VAZÃO DOS PERÍODOS DE REFERÊNCIA DE CADA MODELO.



FONTE: ANA, 2016

Figura 13 - RAZÃO ENTRE A VAZÃO DO CENÁRIO A2 E A VAZÃO DOS PERÍODOS DE REFERÊNCIA DE CADA MODELO.

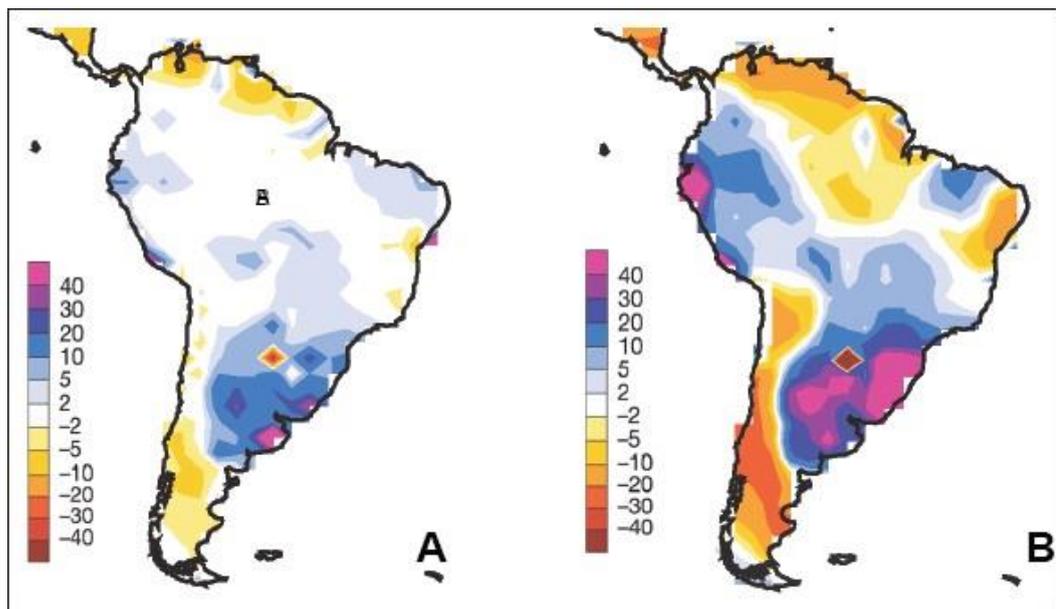


FONTE: ANA, 2016

Conclui-se, com base nos dados obtidos, a redução de vazão dos rios Jaguaribe e Piranhas-Açu em praticamente todos os cenários futuros. Torna-se imprescindível, portanto, a flexibilização dos sistemas de abastecimento, tornando-os menos vulneráveis a variabilidades e mudanças climáticas. Para que este planejamento seja executado com eficiência, os responsáveis pela gestão de águas para abastecimento devem passar a adotar modelos matemáticos confiáveis para anteciparem-se a estes eventos extremos que, como demonstrado, irão se tornar cada vez mais frequentes, seja no semiárido nordestino ou na região sudeste do Brasil.

O que tornou a crise hídrica na RMSP atípica, entretanto, foi a redução drástica da pluviosidade. De acordo com as análises de vazão propostas por Milly et al. (2005), baseadas também nos modelos do IPCC AR4, as regiões Sudeste e Sul do Brasil terão um aumento nos índices pluviométricos e de vazões, ao contrário da região Nordeste, como demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - (A) MUDANÇA RELATIVA (%) DAS VAZÕES DOS RIOS NO PERÍODO DE 1971-2000; (B) MUDANÇA RELATIVA (%) DAS VAZÕES DOS RIOS NO PERÍODO DE 2041-2060.



FONTE: Milly et al (2005)

Esta conclusão está em consonância com o relatório elaborado pelo próprio IPCC em 2013, como visto na Figura 15.

Figura 15 - PREVISÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AMÉRICA DO SUL.

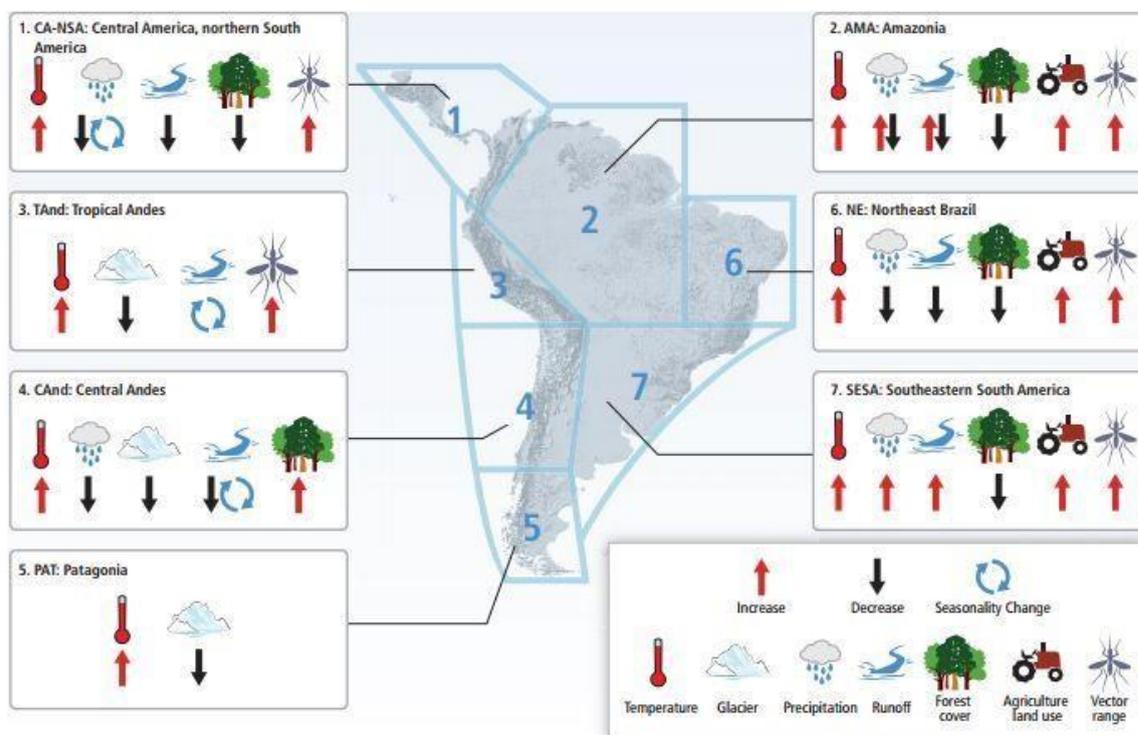


Figure 27-7 | Summary of observed changes in climate and other environmental factors in representative regions of Central and South America. The boundaries of the regions in the map are conceptual (neither geographic nor political precision). Information and references to changes provided are presented in different sections of the chapter.

FONTE: IPCC, 2013

Marengo (2008) sugere que, dada a imprevisibilidade dos fenômenos meteorológicos e as incertezas associadas aos modelos atuais, é essencial o investimento em programas de pesquisa e monitoramento para avaliar os riscos relativos às mudanças climáticas.

Com tais dados, torna-se possível fundamentar o planejamento e a escolha da solução mais adequada à flexibilização do sistema. A rigor, pode-se enumerá-las da seguinte maneira: captação de novas fontes de água, interligação de reservatórios, controle de perdas, controle de demanda, reuso direto, reuso indireto planejado e dessalinização, cada qual com suas vantagens e desvantagens.

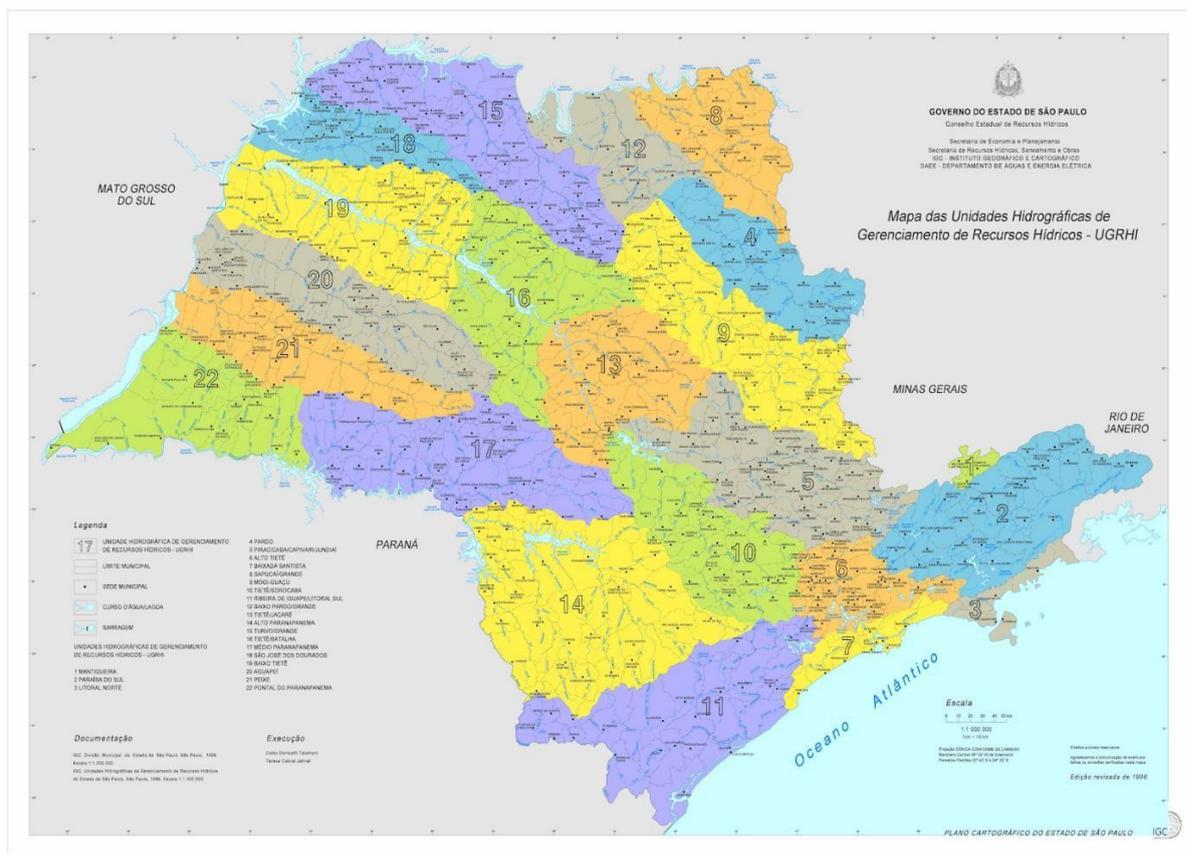
a) Captação de novas fontes de água:

As fontes de águas a serem captadas podem ter duas naturezas diferentes, a princípio: subterrâneas ou superficiais. Ambas as captações estão sujeitas à análise do órgão responsável para emitir a outorga de direito de uso. Para os recursos hídricos do Estado de São Paulo, compete ao DAEE emití-la. Às fontes de domínio da União, a responsabilidade cabe à ANA.

As águas subterrâneas representam uma fonte de abastecimento importante para o estado, especialmente na região oeste. A RMSP, apesar de parcialmente abastecida por aquíferos, não apresenta reservatórios subterrâneos de alta capacidade de vazão. Desta maneira, o uso de águas subterrâneas mostra-se necessário apenas em situações emergenciais, sendo inviável utilizá-las como fonte primária (NASCIMENTO et al, 2016).

De forma a melhor gerir os recursos hídricos paulistas, o Estado de São Paulo encontra-se subdividido em 22 regiões denominadas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - MAPA DAS UGRHI DO ESTADO DE SÃO PAULO.



FONTE: DAEE, 2016.

A Região Metropolitana de São Paulo encontra-se inserida na UGRHI 6 - Alto Tietê. Seu abastecimento, porém, depende não só da UGRHI 6, como também das UGRHI 2 (Paraíba do Sul), 5 (Piracicaba/ Capivari/ Jundiaí), 7 (Baixada Santista), 9 (Mogi Guaçu) e 11 (Ribeira de Iguape/ Litoral Sul). A integração das UGRHI, entretanto, só é possível graças a obras de grandes dimensões. Muitas vezes, é necessário que sejam executadas transposições de bacias hidrográficas. Estes projetos, além de apresentarem um elevado potencial de impacto ambiental

e social, envolvem conflitos políticos entre os gestores das bacias. Ademais, no caso da RMSP, a tendência é de haver um aumento da distância entre a fonte de captação e o ponto de consumo, elevando-se todos os gastos envolvidos na implantação, operação e manutenção do sistema. (NASCIMENTO, 2016).

b) Interligação dos reservatórios:

Antes de março de 2015, o Sistema Cantareira correspondia à principal fonte de abastecimento da RMSP. Desde janeiro de 2014, porém, a população atendida pelo sistema vinha sendo reduzida, de 8,8 milhões para 5,6 milhões, em fevereiro de 2015. Estes 3,2 milhões que deixaram de ser abastecidos pelo Cantareira passaram a receber água do Sistema Guarapiranga. Para que isso fosse possível, a SABESP teve de acelerar obras de integração entre os diferentes mananciais da RMSP. Alguns destes projetos já constavam nos planos futuros da empresa para segurança hídrica, mas tiveram de ser adiados dada a incapacidade dos reservatórios do Sistema Cantareira, mais afetado pela estiagem, em atender à demanda.

A interligação dos sistemas nada mais é do que a transferência de volume de um reservatório melhor abastecido para outro em piores condições. Via de regra, apenas transferências dentro do Sistema Integrado Metropolitano (SIM) são consideradas integrações, pois não dependem de outorga de captação. A desvantagem deste tipo de solução é ligada principalmente ao custo de manutenção da rede e das estações elevatórias. Além disso, por ocorrer dentro do próprio SIM, não há acréscimo de vazão no sistema como um todo, apenas um remanejamento interno para balancear o abastecimento.

c) Controle de perdas:

As perdas de abastecimento podem ser dimensionadas, basicamente, pela diferença entre o volume total produzido nas ETAs e a soma dos volumes medidos nos hidrômetros de toda a população atendida pelo sistema. Suas causas podem ser das mais diversas. A SABESP subdivide-as em duas parcelas: as perdas físicas/reais, que correspondem aos volumes perdidos através de vazamentos e que, portanto, não são consumidas, e as perdas não físicas/aparentes, que correspondem aos volumes consumidos, porém não contabilizados, devidos principalmente a ligações clandestinas. Estas últimas, além de não atingirem o consumidor final, também acabam gerando um passivo financeiro para a concessionária.

Tardelli et al. (2006) sugerem algumas medidas para controle de perdas. Para as perdas reais, pode-se reduzir a pressão do sistema, efetuar manutenção nas tubulações ou controlar o nível

dos reservatórios. Para as perdas aparentes, entretanto, o controle envolve especialmente a manutenção dos macro e micro-medidores, de forma a evitar erros na medição de vazão, e fiscalização efetiva de fraudes e ligações clandestinas.

De acordo com o ex-presidente da SABESP Jerson Kelman, em entrevista à Folha de São Paulo, o gasto da empresa para manter as taxas de perdas estacionadas foi da ordem de R\$ 400 milhões em 2017. Para que as perdas sejam reduzidas, seria necessário que este investimento dobrasse (SCOLESE,2017).

d) Controle de demanda:

Ao contrário das outras medidas citadas, o controle da demanda não atua na infraestrutura do abastecimento diretamente, e sim na tarifa do uso de água. Trata-se, portanto, de uma medida financeira com reflexos na gestão hídrica.

Sua atuação pode se dar de várias maneiras como, por exemplo, tarifas diferenciadas para consumos abaixo de um limite pré-estabelecido ou multas para quem ultrapassá-lo. Outras propostas também são sugeridas por alguns especialistas, como o ex-presidente da SABESP Jerson Kelman. De acordo com ele, pode-se estratificar a tarifa de acordo com a classe social do cliente. Desta forma, consumidores de baixo poder aquisitivo pagariam taxas proporcionalmente menores à sua renda que consumidores de poder aquisitivo mais elevado. Além do uso das medidas tarifárias, as concessionárias e os governos podem também promover campanhas publicitárias e socioeducativas para combater o alto consumo de água.

e) Reuso indireto planejado:

Esta técnica consiste na reintrodução dos efluentes gerados pelo consumo humano nos corpos hídricos de captação, sejam eles rios, poços, mananciais etc. Para que a água possa ser reintroduzida, é necessário que esta seja tratada antes do lançamento, de forma a garantir que o ponto de captação não terá sua qualidade comprometida.

A depender do nível de tratamento utilizado, e também da classe de qualidade das águas doces, os usos a que a água será destinada podem ser limitados.

Águas doces de classe 1, 2 podem ser utilizadas tanto para abastecimento humano quanto para irrigação de hortaliças e outras atividades com as quais o público possa vir a ter contato direto. Águas de classe 3 podem ser utilizadas para abastecimento também, porém necessitam de tratamentos mais avançados que das ETAs convencionais. Águas de classe 4 estão

terminantemente proibidas para consumo humano direto ou indireto, dispondo apenas de uso paisagístico ou hidroviário.

Para que o reuso indireto seja considerado planejado, pressupõe-se que todo o sistema de emissão dos efluentes a montante do ponto de captação seja controlado. Dessa forma, sabe-se de antemão a qualidade da água lançada e, no caso de haver mistura entre efluentes, a qualidade da água manter-se-á dentro dos padrões pré-estabelecidos no projeto.

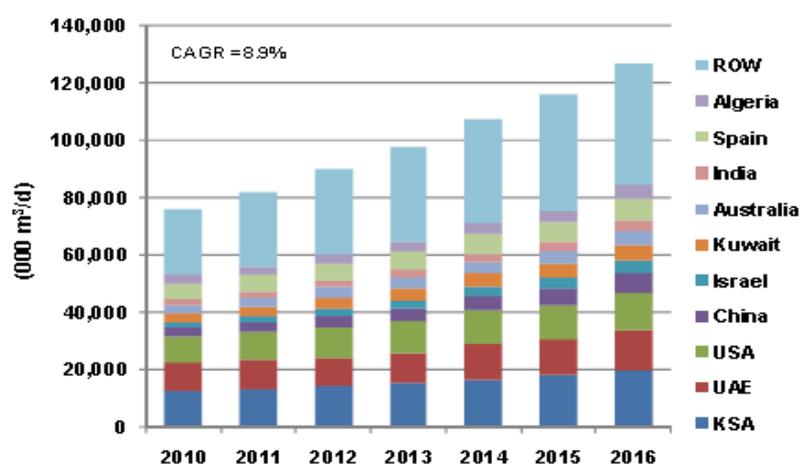
Caso o lançamento não atenda às restrições impostas, diz-se que o reuso indireto é não planejado. Esta situação ocorre em muitos municípios brasileiros devido a lançamentos irregulares de esgoto não tratado, acarretando diversos problemas ambientais ao manancial a jusante da emissão.

f) Dessalinização:

Este processo de geração de água potável é bastante disseminado em países com escassez crônica de recursos hídricos, geralmente em condições climáticas áridas ou desérticas. De acordo com a Associação Internacional de Dessalinização (IDA), entretanto, este método não se restringe apenas a países com condições meteorológicas severas. Atualmente cerca de 150 países possuem plantas de dessalinização de água e os investimentos continuam crescendo, como indicado na Figura 17.

Figura 17 - CRESCIMENTO DA VAZÃO DE ÁGUA PRODUZIDA PELO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO EM 11 PAÍSES DIFERENTES ENTRE 2010 E 2016.

Chart 1.1 Cumulative Installed Desalination Capacity, Top Growth Markets: 2010-2016



(Sources: IDA, World Bank, AWE Research)

FONTE: BURN et al (2016)

No Brasil, o Programa Água Doce, sob responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente, vem, desde 1997, desenvolvendo projetos de dessalinização em toda a região Nordeste e também no Norte de Minas Gerais. A técnica mais utilizada no país é a osmose reversa, em que a água é separada dos sais dissolvidos pela passagem forçada em uma membrana semipermeável, sob uma pressão maior que a pressão osmótica dos sais presentes (HENTHORNE, 2009).

De acordo com o professor Kepler Borges França, diretor do Laboratório de Referência em Dessalinização – LABDES da Universidade Federal de Campina Grande, o custo de processos térmicos de dessalinização, como a destilação, é de cerca de 10 a 15 vezes superior às técnicas com membranas. Além disso, observa-se uma tendência de redução dos custos de implantação de usinas de dessalinização, independentemente da técnica utilizada. Dessa forma, França argumenta em entrevista à revista TAE (2015) que, a curto prazo, a construção de mini-usinas no litoral pode ser uma solução economicamente viável pois não requer a implantação e manutenção de grandes adutoras.

Um dos problemas ambientais observados na dessalinização é a destinação dos resíduos gerados no processo. Alguns países lançam os rejeitos em oceanos ou poços de grandes profundidades (Porto et al., 2001). O lançamento das águas residuárias em águas superficiais, apesar de comum na maior parte dos empreendimentos desta natureza, está sujeito à compatibilidade com as águas receptoras, caso contrário pode haver um impacto na vida aquática e na qualidade da água.

3.2.3 Obras e soluções para segurança hídrica da RMSP

Durante a crise hídrica de 2014 foram adotadas várias medidas para redução de uso de água. Para uma melhor gestão de consumo, foi implantada a tarifa de contingência para vazões mensais acima da média. Dessa forma, todos os valores que ultrapassassem o teto estipulado seriam sobretaxados pela concessionária. Com o Programa de Combate às Perdas, a SABESP ampliou o número de equipes em campo para a execução de consertos de vazamentos, buscando reduzir o elevado índice de perdas do sistema de distribuição. Outra ação tomada pela empresa para controle das perdas foi a redução da pressão nas tubulações nos períodos de menor consumo. (SABESP, 2015)

II) Transposição do Rio Guaió para a represa Taiapuêba (Sistema Alto Tietê)

O empreendimento é composto de uma estrutura de captação localizada no Rio Guaió, estação elevatória, adutora e estrutura de descarga localizada em tributário da represa Taiapuêba. São 9 km de adutoras de diâmetro 800 mm e uma estação de bombeamento. A obra permite a retirada de 1,0 m³/s de água do Rio Guaió para o ribeirão dos Moraes. Este curso d'água termina no rio Taiapuêba-Mirim, afluente da represa Taiapuêba, pertencente ao Sistema Alto Tietê. (SABESP, 2015)

III) Ampliação da capacidade de tratamento da ETA ABV

A ETA ABV que trata água do Sistema Guarapiranga teve sua capacidade aumentada de 15 para 16 m³/s com a implantação de mais um módulo de ultrafiltração com membrana, com capacidade de 1 m³/s. Para transferir esta vazão adicional, foram executadas obras para ampliação do Booster Cadiriri, para o aumento da vazão na adutora ABV-Jabaquara. Também foi executada a recuperação de uma linha da adutora França Pinto, que permitiu a ampliação do abastecimento do Sistema Guarapiranga para a região da Av. Paulista, Ipiranga e São Caetano do Sul. (SABESP, 2015)

IV) Ampliação da capacidade de bombeamento do braço do Taquacetuba para a represa Guarapiranga

Intervenções nos equipamentos elétricos da Estação Elevatória de Água Bruta do Taquacetuba, possibilitando ampliar a transferência em mais 0,5 m³/s do braço do Taquacetuba para a represa Guarapiranga.

A seguir, na Tabela 1, apresenta-se uma matriz de decisão do trabalho de conclusão de curso, Análise de Soluções para Suprir o Abastecimento de Água da Macrometrópole de São Paulo (NASCIMENTO et al, 2016) que produziu uma análise comparativa entre as diversas soluções discutidas, em que são parametrizados de maneira quantitativa todos os aspectos qualitativos de cada método. Permite-se assim que, através de um sistema de pesos para cada parâmetro, seja possível estipular qual é a melhor solução para o contexto de abastecimento da RMSP no ano de 2016. (SABESP, 2015)

Tabela 1— MATRIZ MULTICRITÉRIO DE ANÁLISE ENTRE DIFERENTES SOLUÇÕES PARA O ABASTECIMENTO.

| | | Peso | Captação de novas fontes de água | Interligação de reservatórios | Controle de perdas | Controle de demanda de água | Reuso Indireto Planejado | Reuso Industrial AQUAPOOL | Reuso Industrial COAST CORRENTE | Reuso Residencial | Dessalinização |
|------------|-----------------------|------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------|
| Parâmetros | Custo unitário | 5 | 3 | 3,95 | 3,14 | 5 | 3,48 | 3,61 | 3,65 | 1 | 2,36 |
| | Vazão Máxima | 5 | 3 | 2,6 | 1,22 | 2,39 | 5 | 1,39 | 1,01 | 1 | 3,2 |
| | Qualidade da água | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| | Tempo de implantação | 2 | 2,69 | 5 | 2,29 | 1 | 3,1 | 3,26 | 4,24 | 4,24 | 2,69 |
| | Vida útil | 2 | 5 | 5 | 5 | 1,8 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 1 | 2,6 |
| | Limitações do sistema | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| | Total | | 65,38 | 76,75 | 56,38 | 70,55 | 75,4 | 59,32 | 55,58 | 37,48 | 54,38 |
| | Soma para mais | | 68,88 | 80,25 | 59,88 | 74,05 | 78,9 | 62,82 | 59,08 | 40,98 | 57,88 |
| | Soma para menos | | 61,88 | 73,25 | 52,88 | 67,05 | 71,9 | 55,82 | 52,08 | 33,98 | 50,88 |
| | Classificação | | 4° | 1° | 7° | 3° | 2° | 5° | 6° | 9° | 8° |

FONTE: NASCIMENTO et al (2016) ADAPTADO

O estudo das soluções desenvolveu-se por meio de uma matriz de decisão, a qual permite analisar diferentes critérios e atingir uma conclusão final. A matriz de decisão foi montada da seguinte forma:

a) Foram obtidos os parâmetros de análise das soluções, classificando-os de acordo com seu grau de importância, por meio de pesos. Os pesos variam de 1 a 5, que foram definidos por meio do estudo estatístico da opinião subjetiva de cada autor, e seu resultado é apresentado em cada parâmetro.

- b) Dispuseram-se os parâmetros das soluções em ordenadas diferentes.
- c) Atribuíram-se notas aos parâmetros das soluções em cada solução, também variando de 1 a 5. Cada parâmetro ordena de diferente forma o valor da nota. Esta ordem será explicada no item D) a seguir.
- d) O peso de cada parâmetro foi multiplicado pela nota de cada alternativa, alcançando assim a nota ponderada.
- e) O resultado foi o total das notas ponderadas para cada solução.
- f) Observou-se a solução que possui a maior nota final e conclui-se esta como a mais viável.

D) Parâmetros e notas.

Foram atribuídas notas entre 1 a 5 subjetivamente com base nos dados coletados e ao compará-los. Como a solução dita melhor, foi adotada aquela que possui o maior valor: o valor 1 foi dado para aquelas que tiveram seu pior desempenho no quesito em estudo, e subsequentemente as de maior desempenho foram escolhidas em ordem crescente proporcional à sua atuação no parâmetro.

Os parâmetros selecionados para o estudo foram os descritos a seguir:

a) Custo Unitário (R\$/m³/s/ano)

O custo unitário foi feito por meio da somatória do custo de implantação com o de operação e manutenção. Para obter o de implantação na unidade desejada tomou-se o valor e o dividiu pela vazão fornecida pela solução e pela vida útil da solução. O custo de operação e manutenção é feito de forma singular para cada solução, este é basicamente estimado por não haver fontes que forneçam estes dados. A fórmula a seguir mostra, de forma sucinta, o conceito de custo unitário:

$$\text{Custo unitário} = (\text{Custo de implantação} + \text{custo de operação e manutenção}) / (\text{Vazão máxima} \times \text{vida útil}).$$

Para este parâmetro, custo unitário, aquelas soluções que possuíram o maior custo receberam o menor valor, ou seja, obtiveram um pior desempenho. O peso definido para esse parâmetro foi 5.

b) Vazão Máxima (m³/s)

A vazão produzida máxima de cada solução tem as suas notas respectivas decrescentes juntamente com vazão. O peso definido para esse parâmetro foi 5.

c) Qualidade da água

Classificou-se a qualidade da água com base na Portaria da Potabilidade, do CONAMA, Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, comparando com aquelas que não possuíam a qualidade da ETA como melhor ou pior que a mesma. Deu-se à ETA uma nota 4, e classificaram-se as outras com base nessa nota: as melhores receberam mais que 4 e as de piores qualidades notas menores que 4. O peso definido para esse parâmetro foi 3.

d) Tempo de implantação

Comparou-se o tempo em dias que cada solução leva para ser implantada, desde o esforço inicial da concepção até o primeiro resultado, sendo aquela que possui maior tempo a que recebe a menor nota. O peso definido para esse parâmetro foi 2.

e) Vida útil

A vida útil é um conceito econômico, o qual analisa o tempo em que será necessário para investir o capital inicial novamente. A maior vida útil recebeu a maior nota, e o restante foi proporcional a ela. O peso definido para esse parâmetro foi 2.

f) Limitações do sistema

Neste parâmetro foi possível avaliar as peculiaridades das limitações de cada solução, sendo o espaço para comentar e colocar nota que classificassem as dificuldades das alternativas. O peso definido para esse parâmetro foi 4.

O modo como o Governo do Estado enfrentou a crise hídrica levou a resultados exitosos, começando pela redução do consumo, que ocorreu com campanhas junto ao consumidor para a economia de água, aplicação de multas para quem excedesse valores acima das médias de consumo dos meses anteriores, bônus nas contas de água para os consumidores que economizarem o seu consumo e diminuição da pressão na rede de abastecimento.

Paralelo a isso, em termos de soluções estruturais, o Governo do Estado investiu em obras de implantação em curto prazo bastante eficientes, em função do quadro de desbalanceamento

hidrológico prevalecente na RMSP, como a interligação entre os sistemas produtores Billings e Alto Tietê e a interligação entre a bacia do rio Paraíba do Sul e o Sistema Cantareira.

Em soluções de médio prazo, o Governo do Estado buscou ampliar o sistema, abrangendo novos mananciais, para atender o aumento de demanda e aumentar a segurança do sistema.

Comparando as medidas tomadas pelo Governo com o resultado obtido através da análise da matriz de decisão demonstrada na Tabela 1, é notório que foram medidas compatíveis com os tópicos considerados, ou seja, são viáveis em aspectos econômicos, sociais e ambientais.

3.2.4 Programa de redução de perdas da SABESP

A SABESP vem desenvolvendo ações para a redução de perdas ao longo do tempo. A partir de 2007 foi estruturado o programa de redução de perdas, com metas e ações definidas e recursos financiados, para garantir trabalho contínuo e mais intenso com vistas à redução consistente das perdas nos sistemas de abastecimento, no período 2009–2020, ou seja, de 11 anos. No período de 2009 a 2012 o Programa teve financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, totalizando a aplicação de R\$ 1,2 bilhões (valores correntes). Em fevereiro de 2012 foi assinado um contrato de financiamento com o governo japonês, através de sua agência de cooperação Japan International Cooperation Agency - JICA, para financiar o escopo de mais R\$1,2 bilhão do Programa para o período 2012 a 2016. O Programa Corporativo de Redução de Perdas se divide em duas frentes. A primeira frente de atuação está direcionada ao combate das perdas reais ou físicas, que correspondem aos volumes de água não consumidos, por serem perdidos através de vazamentos nas redes de distribuição. Na RMSP, essas perdas reais correspondem a cerca de 62% das perdas totais, ou seja, o índice de perdas reais ou físicas da RMSP está em torno de 17,1% (SABESP 2015).

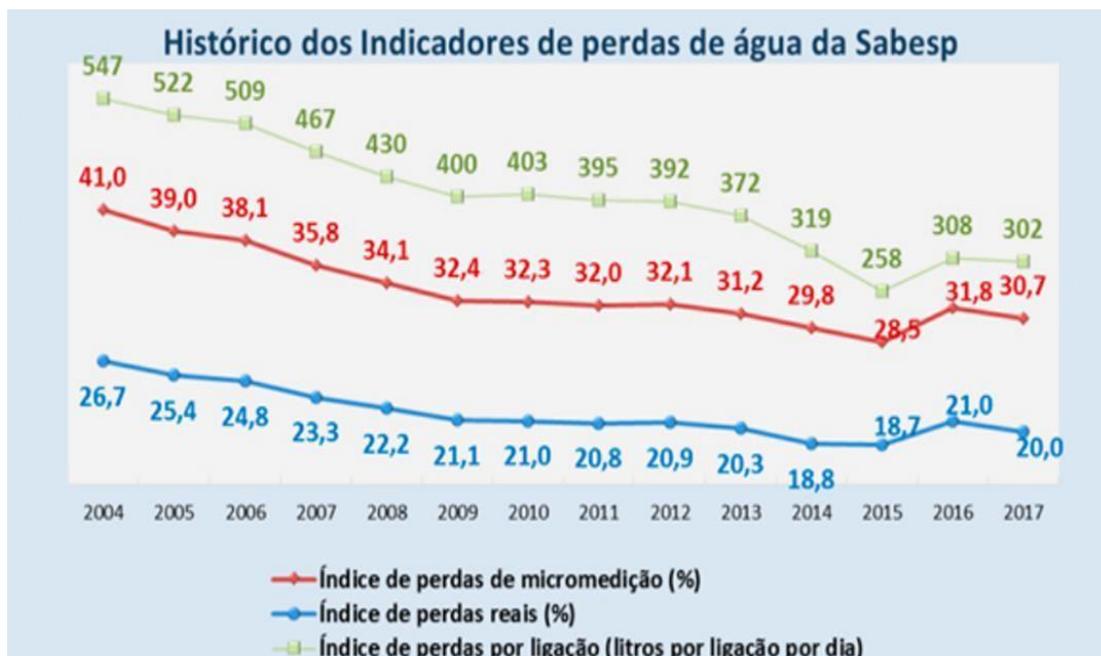
Uma das medidas da SABESP para combater a crise hídrica em 2014 foi a redução da pressão nas redes de distribuição, de modo a minimizar as perdas físicas. A SABESP dispõe atualmente de cerca de 1.500 válvulas redutoras de pressão (VRPs) em operação na RMSP, o que representa uma cobertura de aproximadamente 46% da rede de distribuição (SABESP 2015). A Norma Brasileira NBR 12.218/94 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, prevê pressão dinâmica mínima de 10 mca (metros de coluna de água) nas redes públicas de distribuição, no entanto o texto dispõe em seu item 5.4.1.2 que “os valores da pressão estática

superiores à máxima e da pressão dinâmica inferiores à mínima podem ser aceitos, desde que justificados técnica e economicamente”. Ou seja, em uma situação real de operação da distribuição de água, especialmente com as restrições atuais oriundas da crise hídrica, a pressão dinâmica pode ficar abaixo dos 10 mca, conforme a demanda daquele momento e, principalmente nos horários de maior consumo, em consonância com o previsto na própria norma. Importante destacar que a manutenção das redes pressurizadas, mesmo em patamares reduzidos (por exemplo, 1 mca), evita a entrada de materiais estranhos na rede, que poderiam comprometer a qualidade da água distribuída à população. A redução de pressões se mostrou a ação mais eficiente no enfrentamento da crise hídrica, sendo responsável pela redução apenas no Sistema Cantareira, de 7,3 m³/s, o equivalente a 41% de toda economia obtida nesse Sistema. (SABESP 2015)

As principais ações previstas no programa para combate às perdas reais ou físicas são: renovação da infraestrutura, com substituição de redes e ramais; pesquisa de vazamentos não visíveis; reparos de vazamentos; implantação de obras de melhoria do sistema de distribuição, por meio da setorização dos sistemas e sua divisão em áreas menores ou DMCs - Distritos de Medição e Controle e da redução e controle da pressão nas redes e, por consequência, da incidência e vazão dos vazamentos; já para o combate às perdas aparentes ou comerciais, as principais ações são a troca de hidrômetros e o combate a irregularidades.

Como se observa na Figura 19 de dezembro de 2004 a dezembro de 2017, o índice de perdas de água na micromedição caiu 10,3 pontos percentuais, passando de 41,0% para 30,7%. Nesse mesmo período, o índice de perdas reais, ou físicas caiu 6,7 pontos percentuais, passando de 26,7% para 20%. A meta do Programa é atingir, até 2020, um indicador de perdas por ligação de 273 Litros / ligação x dia e um índice relativo à micromedição de 29,3%, que corresponde a um nível de perdas reais (ou físicas) em torno de 18,9% (comparável a sistemas de abastecimento de países desenvolvidos).

Figura 19 — GRÁFICO DAS PERDAS DE ÁGUA REGISTRADAS PELA SABESP NA RMSP ENTRE 2004 E 2017.



FONTE: SABESP, 2017

3.3 TRANSPOSIÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

3.3.1 Conceito

O conceito de bacias hidrográficas proposto por Barrella (2001) é de um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, concebida nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

A transposição de bacia hidrográfica, portanto, retira uma determinada vazão dessa área de drenagem e a conduz para um novo curso d'água ou para estações de tratamento fora desta zona geográfica, seja por meio de tubulações, canais e/ou túneis. O transporte da água pode se dar tanto pelo auxílio de estações elevatórias como, também, por gravidade. A opção de sistema está atrelada à diferença de configuração física e geográfica das zonas de captação e recepção. A vazão que é retirada do corpo d'água doador é o aspecto central da transposição, visto que os projetos, estudos de impactos ambientais, a outorga, estudos de impactos socioeconômicos, questões políticas e discussão da mídia e da sociedade são todos centralizados com base na quantidade que será retirada.

Transposições podem servir a diferentes propósitos dentro da visão estratégica de gestão das águas. A transposição do rio São Francisco, um exemplo muito discutido nacionalmente nos últimos anos, foi projetada pensando-se especialmente na questão de irrigação. Pode-se utilizá-las também como um mecanismo de controle de enchentes, geração de energia ou abastecimento populacional, como já citado acima.

Mais recentemente, desenvolveu-se uma técnica de transposição denominada reversível. Esta modalidade permite que, de acordo com a necessidade das áreas envolvidas, o sistema de captação seja utilizado para recepção e vice-versa. Para que isso seja possível, é necessária uma configuração simétrica de estações elevatórias, a montante a jusante, que direcionarão o fluxo de água no sentido desejado.

3.3.2 Impactos ambientais e socioeconômicos

Uma das maiores preocupações quando há uma transposição de bacias hidrográficas é o impacto ambiental que o projeto poderá acarretar no manancial receptor e principalmente, no doador. Por isso, nos dias de hoje é indispensável que esse tipo de projeto disponha de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e um Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) consistente para que seja possível analisar de forma ampla quais serão as consequências ambientais, no curto e longo prazo que a transposição pode gerar.

Para determinar qual será a vazão de projeto, é realizado um balanço de disponibilidade hídrica de acordo com o critério adotado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) com base na Portaria nº 653 de 17 de outubro de 1994, que estipula como exigência técnica para a aprovação de projetos com barramentos a caracterização hidrológica pela vazão mínima média diária observada das séries históricas consideradas; no caso de inexistência de séries históricas, a indicação do valor da vazão mínima de 10 anos de recorrência e duração de 7 dias (Q7,10), bem como a fonte de estudo de regionalização, que é utilizada na maioria das vezes, no Estado de São Paulo.

Determinada essa vazão, é possível estudar qual será o impacto no rio doador, como a redução da capacidade de diluição de efluentes, possibilidade de assoreamento em alguns pontos devido à redução da vazão, outros pontos de captação que podem ser prejudicados, cidades e população ribeirinha que dependem desse rio e se a retirada dessa quantidade de água afeta a fauna e flora

do manancial. O rio receptor pode encontrar problemas como aumento da erosão do corpo d'água devido ao maior volume.

A execução da obra também pode gerar impactos ambientais como desmatamento e remoção de terra, que são impactos comuns em obras de engenharia, mas que devem ser levados em conta.

A região banhada pelo manancial que será retirada a água tende a se sentir prejudicada pelo projeto e não aceitar essa transposição, o que pode gerar grandes conflitos na Justiça, e em alguns casos até mesmo entre estados que podem compartilhar uma mesma bacia.

3.3.3 Exemplos de transposições

a) Piracicaba - Alto Tietê (Sistema Cantareira, São Paulo)

A transferência de águas dos rios formadores do rio Piracicaba para a bacia do Alto Tietê se iniciou em 1966 com a construção de um conjunto de reservatórios localizados nos rios Jaguari, Jacareí, Cachoeira e Atibainha, além do reservatório Paiva Castro, no rio Juqueri, este já na bacia do Alto Tietê. O sistema Cantareira, por sua vez, é operado pela SABESP, e tem capacidade para fornecer até 33 m³/s para 8,8 milhões de pessoas da RMSP.

Além do uso para abastecimento urbano, o sistema tem o objetivo de controlar as cheias na bacia do rio Piracicaba e regularizar vazões para os rios Jaguari e Atibaia. O sistema começou a ser operado a partir de 1973 com o reservatório Paiva Castro, sendo o último reservatório construído o de Jacareí, em 1981 (CASTRO, 2003). Nos últimos anos, a bacia do rio Piracicaba apresentou grande crescimento populacional e industrial, além de um aumento da demanda para irrigação.

Segundo alguns autores, o novo quadro afetou negativamente o meio ambiente, agravando problemas de abastecimento e diminuindo a qualidade da água, o que vem dificultando ainda mais a manutenção das vazões mínimas no período seco (CASTRO, 2003).

Desde a construção do sistema, existe um conflito latente entre a população da RMSP, que recebe as vazões captadas, e a população da bacia, que se considera negligenciada pelo governo. À época, o regime político vigente e o arcabouço legal limitavam manifestações a respeito do projeto. O sistema Cantareira passou então a ser encarado como aquele que beneficia a população da RMSP em detrimento da população da bacia do rio Piracicaba.

Outro aspecto importante é o forte crescimento da ocupação na várzea dos reservatórios. Este processo tem contribuído para aumentar a erosão das margens e o consequente acúmulo de sedimentos no reservatório, acelerando-se assim o processo de assoreamento das represas, além do comprometimento da qualidade da água devido ao despejo de esgoto doméstico. Estes problemas exigiram um debate mais democrático sobre a problemática dos recursos hídricos da bacia, levando à constituição do Comitê de Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – PCJ.

b) Jaguari - Atibainha

A interligação dos rios Jaguari - Atibainha é considerada essencial para socorrer o Sistema Cantareira em caso de nova seca extrema no principal manancial paulista.

Esta transposição liga as represas de Jaguari, localizada na bacia do rio Paraíba do Sul, a de Atibainha, que faz parte do Sistema Cantareira. A obra foi anunciada pelo Governo do Estado de São Paulo em 2014, durante a crise hídrica, porém, devido à disputa que este projeto causou com o Governo do Estado do Rio de Janeiro, que capta água do rio Paraíba do Sul para abastecer a população fluminense, a obra foi estagnada e, somente após o acordo realizado entre os dois estados, a obra teve seu início no ano de 2016.

O desafio desta interligação é um conjunto de instalações lineares com 13,4 km de adutora de água, aproximadamente 6 km de túneis e instalações localizadas, como tomada de água, estações elevatórias e instalações de controle hidráulico situadas nos municípios de Santa Isabel, Igaratá e Nazaré Paulista (SABESP 2017). Uma das inovações desta obra se deu na construção dos túneis, onde foi utilizado um novo método de escavação, diferente do utilizado nas obras do metrô, conhecido como shield. As escavações nessa interligação usam um método austríaco de tunelamento, chamado pela sigla em inglês NATM (New Austrian Tunnelling Method) que emprega sistemas de suporte com concreto projetado associado a outros apoios como tirantes e cambotas, realizando uma escavação sequencial e de acordo com a capacidade de resistência de cada tipo de maciço.

Esta interligação permite uma transferência de volume de água com uma vazão máxima de 8,5 m³/s da represa Jaguari para a Atibainha e, quando necessário, 12 m³/s no sentido contrário. Analisando-se aspectos práticos de gestão dos recursos hídricos, fenômenos como escassez e excesso de água serão administrados com precisão e antecedência, garantindo o abastecimento

de toda a população atendida pelos sistemas. Esta é a primeira obra de saneamento do Brasil sob o regime diferenciado de contratação, RDC, o investimento é de R\$ 555 milhões e é financiado pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social).

c) Transferência da Represa Billings para Represa Taiacupeba

O sistema Billings foi um dos menos afetados pela estiagem da crise hídrica devido à sua localização em região serrana, com uma taxa de pluviosidade superior à de outras regiões. Seu volume manteve-se praticamente inalterado em relação à média histórica. Na tentativa de ajudar o Sistema Alto Tietê durante a crise e mantê-lo como plano de contingência, a SABESP construiu a ligação dos reservatórios Rio Grande (Billings) e Taiacupeba (Alto Tietê) com uma obra que transfere, por meio de duas tubulações de diâmetro 1.200 mm e extensão aproximada de 13 km, até 4 mil litros por segundo da Represa Billings para Rio Taiacupeba-Mirim, que faz parte da bacia receptora da Represa Taiacupeba, vencendo um desnível de 78 metros. A interligação tem o objetivo de aumentar o volume no Sistema Alto Tietê, que abastece mais de 5 milhões de pessoas na Zona Leste de São Paulo e em outros municípios da Região Metropolitana. Com isso, se necessário, o Sistema Alto Tietê pode assumir clientes do Cantareira, o sistema mais afetado pela crise hídrica.

Figura 20 - IMAGEM AÉREA DA TUBULAÇÃO DE LIGAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS RIO GRANDE E TAIACUPEBA.



FONTE: SABESP, 2015

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PESQUISAS

As análises necessárias para o desenvolvimento do trabalho baseiam-se fundamentalmente em pesquisa de referência. A bibliografia básica revisada consiste em livros técnicos sobre os assuntos de abastecimento de água, transposição de bacias hidrográficas, planejamento estratégico de recursos hídricos e relatórios e estudos de impacto ambiental sobre empreendimentos já executados e análogos à transposição do rio Itapanhaú. Com essas informações serão estudados os quatros projetos de transposição do rio Itapanhaú que foram propostos desde a década de 70.

Por se tratar do estudo de caso de uma obra ainda não iniciada, os impactos ambientais e sociais desta transposição baseiam-se nas previsões dos documentos elaborados para liberação da mesma. Sendo assim, ainda há bastante controvérsia acerca deste tema. Os documentos EIA (SABESP, 2015), RIMA (SABESP,2015) elaborados pela PRIME Engenharia e “Estudo Hidrológico para Transferência do Rio Itapanhaú para a Represa Biritiba” (LABSID, 2015), que contêm informações de caráter hidráulico e ambiental e estão disponíveis para consulta pública, foram disponibilizados ao público pela empresa interessada na obra, a SABESP.

Pela leitura do “Estudo Hidrológico para Transferência do Rio Itapanhaú para a Represa Biritiba” (LABSID, 2015) é possível obter os dados de vazão dos principais pontos a jusante de onde será feita a coleta da água, possibilitando a análise comparativa da bacia antes e depois da transposição.

Os resultados comparativos entre as diferentes versões do projeto de transposição do rio Itapanhaú, elaboradas ao longo dos últimos 40 anos, serão apresentadas na forma de matriz de decisão. Será possível verificar, desta maneira, as alterações feitas pelos projetistas e seus respectivos impactos ambientais previstos. Espera-se que, com isso, seja possível avaliar em que pontos houve avanços e qual foi a estratégia adotada pela SABESP para que o objetivo final da obra (aumento da oferta de água potável na RMSP) não fosse comprometido.

4.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO

A análise dos projetos desenvolveu-se por meio de uma Matriz de Decisão, que permite analisar diferentes critérios e parâmetros que favorecem uma visão mais ampla e coerente das alternativas, a fim de atingir uma conclusão final. Esta também auxilia na identificação de pontos fortes e fracos de cada projeto.

Apesar de trabalhar subjetivamente, ela servirá como guia para encontrar tendências que se enquadram melhor ao objetivo final. A Matriz de Decisão foi estruturada da seguinte forma (BALLSCHMIETER, 2002):

- a) Foram definidos os parâmetros de análise dos projetos, classificando-os de acordo com o seu grau de importância em um cenário geral do empreendimento, por meio de pesos, variando de 1 a 5, sendo esses atribuídos aos parâmetros proporcionalmente à sua importância. Os parâmetros foram analisados de forma a ser mutuamente excludentes.
- b) Dispuseram-se os parâmetros dos projetos em ordenadas diferentes na Matriz de Decisão.
- c) Atribuíram-se notas aos parâmetros dos projetos em cada um dos mesmos, estas também variando de 1 a 5. Cada parâmetro tem uma nota estruturada de forma independente, sendo esta explicada no item 5.4.1.
- d) O peso de cada parâmetro será multiplicado pela nota de cada alternativa, alcançando assim uma nota ponderada.
- e) O resultado final será o total das notas ponderadas de cada projeto.
- f) Observou-se o Projeto que possui a maior nota ao final e conclui-se este como o melhor.

5. ESTUDO DE CASO

5.1 RIO ITAPANHAÚ

O Rio Itapanhaú tem uma extensão aproximada de 40 km. Sua nascente está localizada no município de Biritiba-Mirim e percorre as encostas da Serra do Mar até desaguar no Canal de Bertioga, como pode ser visto na Figura 21. O rio passa por três biomas, sendo eles uns dos mais importantes para as questões ambientais, que são a Mata Atlântica, o Mangue e a Restinga, como pode ser visto no mapa no ANEXO 1. O Rio Itapanhaú possui águas calmas e escuras, e costuma ser muito utilizado para pescarias e para a prática de esportes náuticos.

Dois rios importantes que formam a bacia do Itapanhaú, o rio Itatinga que tem sua confluência com o Itapanhaú na metade da serra próximo à rodovia conhecida como Mogi-Bertioga, e o ribeirão Sertãozinho localizado no topo da serra, que é de onde ficaria a captação de água do projeto atual.

Figura 21 - LOCALIZAÇÃO DO RIO ITAPANHAÚ



FONTE: Google Earth, 2017.

Desde o Plano de Desenvolvimento Global dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê e Cubatão - HIBRACE, elaborado na década de 60, os estudos de abastecimento de água da Grande São Paulo levantaram a possibilidade de aproveitar as águas dos rios Itapanhaú e Itatinga, situados no setor de planalto da Serra do Mar, próximos da RMSP, mediante a transposição para a bacia do Alto Tietê. De acordo com a Lei estadual N° 898/75, a bacia do rio Itapanhaú, até a confluência com o ribeirão das Pedras, no município de Biritiba Mirim são consideradas Áreas de Proteção aos Mananciais de interesse da RMSP. Tal inserção se deve à previsão de importação de água de outras bacias para garantir o abastecimento da RMSP, por meio da reversão de alguns rios, entre estes o Itapanhaú. Essa bacia também, conforme legislação estadual de recursos hídricos (Lei no 7.663/91 e Lei no 9.034/94), faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Baixada Santista.

O Plano Diretor de Abastecimento de Água (PDAA-2004), com horizonte de planejamento de 2025, previu a ampliação do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT) em duas etapas: a primeira de 15 m³/s e a segunda de 20 m³/s. Esse Plano identificou pontos críticos do Sistema Integrado Metropolitano (SIM) e propôs um conjunto de obras para implantação imediata e a curto, médio e longo prazo, de modo a atender às crescentes demandas de abastecimento. Entre elas, os aproveitamentos dos rios Itapanhaú e Itatinga figuram como opções para o abastecimento da RMSP. Também o Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista (DAEE, 2013) apontou, nos 10 arranjos avaliados para suprimento de água da região, a reversão destes rios em 8 desses arranjos. Com a crise de abastecimento da RMSP em 2014 e 2015, a SABESP analisou a possibilidade de, em curto prazo, fazer a reversão da bacia do rio Itapanhaú para o reservatório Biritiba, de forma a permitir ao SPAT ampliar sua área de atendimento e assim aliviar o Sistema Cantareira.

No aspecto operacional, a transposição da bacia do rio Itapanhaú pode ser realizada desde que continue a garantir o abastecimento de Bertioga e preservar as condições dos ecossistemas de restinga e mangue no médio e baixo curso do rio, que o Parque Estadual Restinga de Bertioga objetiva proteger. A reversão da bacia do rio Itapanhaú para o reservatório Biritiba procura recuperar o estoque e ampliar a segurança hídrica do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT), aumentando o volume de água armazenado nos reservatórios que integram esse sistema e proporcionando a utilização plena da capacidade da ETA Taiacupeba. E dessa forma, contribuir para vencer o desafio de abastecer a RMSP, tanto em um momento de crise hídrica como a de 2014, quanto para suprir demandas futuras de água dessa região populosa e com severa escassez hídrica.

5.2 PROJETOS

5.2.1 Plano HIBRACE

O chamado "Plano HIBRACE" foi o primeiro plano de aproveitamento múltiplo contratado pelo DAEE, em meados dos anos 60. Visava à necessidade do planejamento integrado de utilização dos recursos hídricos da Bacia do Alto Tietê e do Rio Cubatão. (NEPOMUCENO,1999)

Para as cabeceiras do rio Tietê, o plano previa a construção de sete reservatórios – Taiapuê, Ponte Nova, Jundiá, Biritiba, Paraitinga, Itatinga e o Itapanhaú, estes dois últimos da vertente oceânica. Os reservatórios tinham funções múltiplas, como regularizar vazões, diluição de efluentes lançados nos rios, o controle de enchentes na região de Mogi das Cruzes e na Grande São Paulo tendo em vista as taxas de crescimento da metrópole. No caso do Itatinga e Itapanhaú a função era o uso agrícola e industrial, que necessitava de água a volumes crescentes, e abastecimento público, devido ao crescimento da RMSP.

Para o abastecimento, o plano previa inclusive a utilização dos reservatórios de Itatinga e Itapanhaú, com área alagada de 15,65 km², para bombear uma vazão regularizada de 3,1 m³/s para os reservatórios de planalto, a serem construídos e interligados, que atualmente é o sistema Alto Tietê (NEPOMUCENO,1999). Portanto as vazões necessárias ao abastecimento público seriam transferidas de um reservatório para o outro, mediante sistemas de bombeamento, até o reservatório de Taiapuê, onde se encontra a ETA da SABESP . Ao longo dos anos, à medida que se implantava o sistema, e conseqüentemente aumentava o conhecimento, tanto da região como das demandas, optou-se por reservar os mananciais de Itatinga e Itapanhaú, exclusivamente para abastecimento da Baixada Santista.

5.2.2 Variante I - PDAA 2004

Na Variante I, o Plano Diretor de Abastecimento de Água – PDAA, procurou trabalhar com barramento sensivelmente menor do que o do projeto anterior levantado em estudos para a SABESP, porém com reservatórios suficientes, ainda, para efetuar uma regularização plurianual. Na Variante I, o reservatório apresenta uma área total de inundação de cerca de 7,07 km². A concepção adotada bombeia 2,8 m³/s da represa do Itapanhaú para a de Biritiba. (SABESP, 2015)

A planilha de custos desta Variante apresenta os seguintes quantitativos:

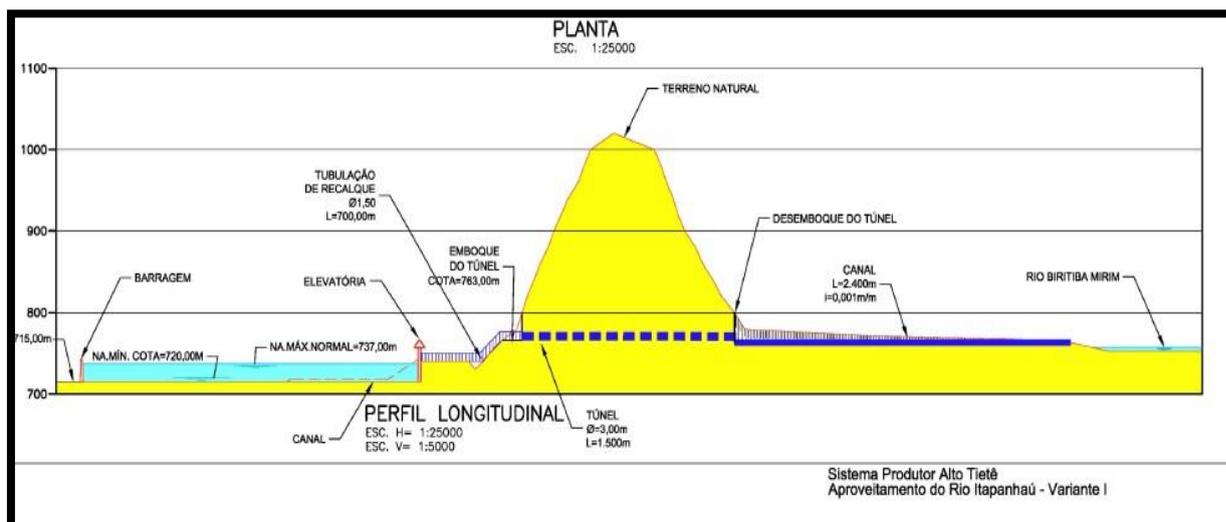
- a) Desapropriação: 7,07 km²
- b) Linha de transmissão: 1 km
- c) Abertura de acessos: 3,4 km
- d) Desvio do rio / ensecadeira / aterro: 6.500 m³
- e) Canal de desvio / escavações: 11.100 m³
- f) Barragem – escavações: 68.460 m³
- g) Barragem – concreto: 6.000 m³
- h) Limpeza do reservatório: 7,07 km²

A variante I apresenta a solução de adução em túnel, sob maciço de grande altura, que tem continuidade em canal aberto em calha de rio que desemboca no reservatório Biritiba. O Projeto prevê uma adutora de recalque em superfície ao longo de estrada existente, desde a área de captação até a proximidade da SP-098, seguindo depois por trilha estreita em meia encosta e sobre a canaleta de drenagem da rodovia, em extensão total de 6,8 km. Uma caixa de transição adutora-canal é prevista logo após a transposição do divisor de águas, seguida de canal em gabião em afluente que deságua no rib. Biritiba-Açu, formador do reservatório Biritiba, por 840 m e canal em gabião desse rio por 1.883 m para evitar instabilidades na calha pela vazão revertida. (SABESP, 2015).

A planilha de custos desta Variante apresenta os seguintes quantitativos, que podem ser observados na Figura 22:

- a) Adutora: 70,0 m
- b) Túnel: 1.450 m
- c) Canal até o reservatório Biritiba: 2.400 m

Figura 22 - CORTE DO RESERVATÓRIO E TÚNEL DA VARIANTE I



FONTE: SABESP, 2015

5.2.3 Variante II - PDAA 2004

Na Variante II o PDAA estudou um aproveitamento com barramento que proporciona reservação mínima suficiente para uma compensação mensal. Nesta Variante a represa apresenta uma área total de inundação de cerca de 1,36 km². A concepção adotada bombeia 2,8 m³/s da represa do Itapanhaú para a de Biritiba. (SABESP, 2015)

A planilha de custos da Variante II apresenta como quantitativos para o reservatório e barramento:

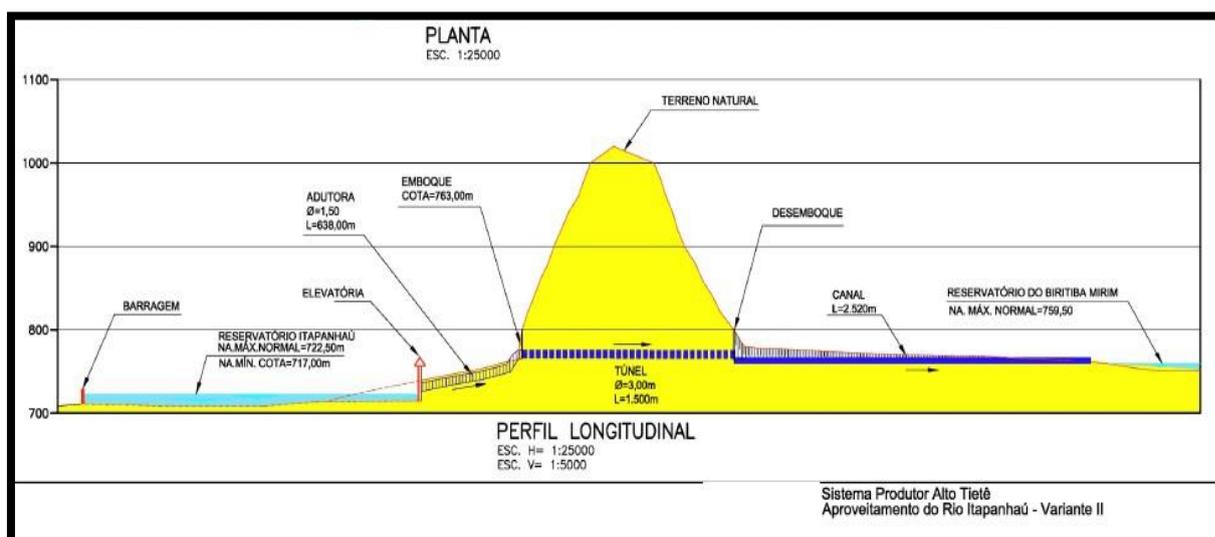
- a) Desapropriação: 1,6 km²
- b) Aberturas de acessos: 3,4 km
- c) Desvio do rio / ensecadeira / aterro: 5.330 m³
- d) Túnel de desvio: 130 m
- e) Barragem – escavações: 71.795 m³
- f) Barragem – concreto: 638 m³
- g) Limpeza do reservatório: 1,36 km²

Assim como a variante I, a variante II apresenta uma adução em túnel, que tem continuidade em canal aberto em calha de rio que desemboca no reservatório Biritiba. Mas nesse caso, como o reservatório é menor, existe uma tubulação para a captação do reservatório até o túnel como pode ser visto no mapa no ANEXO 3. (SABESP, 2015)

A planilha de custos desta Variante apresenta os seguintes quantitativos, que podem ser observados na Figura 23:

- a) Adutora: 638 m
- b) Túnel: 1.630 m
- c) Canal até o reservatório Biritiba: 2.400 m

Figura 23 - CORTE DO RESERVATÓRIO E TÚNEL DA VARIANTE II



FONTE: SABESP, 2015

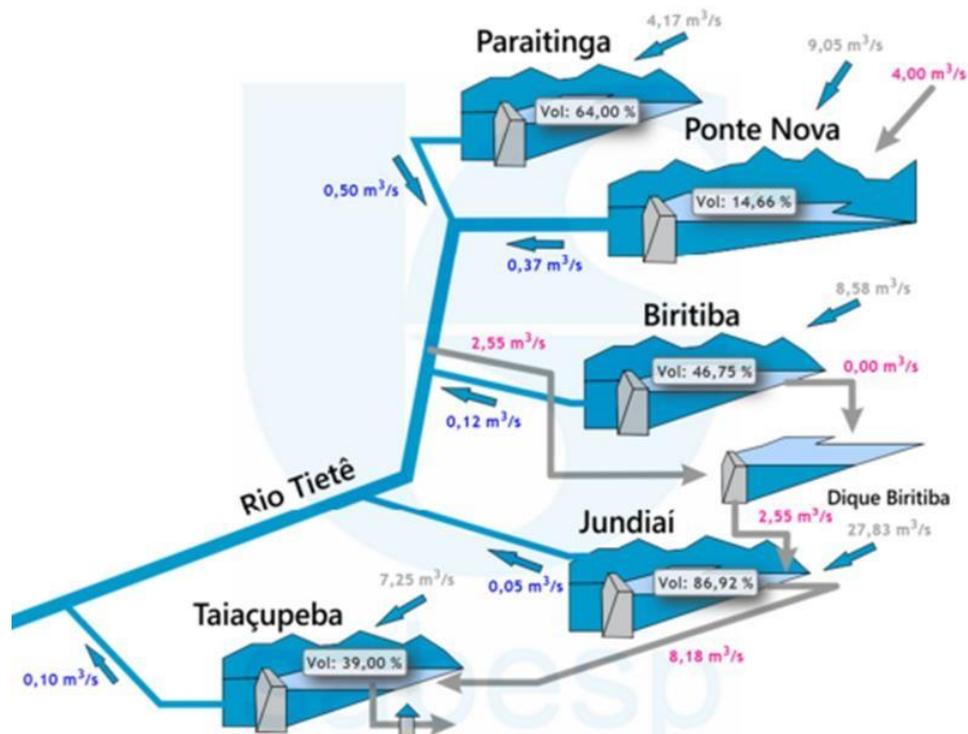
5.2.4 Projeto Atual em Licenciamento (2015)

O sistema de aproveitamento da bacia do rio Itapanhaú para abastecimento da RMSP em licenciamento foi concebido buscando otimizar ao máximo as alternativas que tinham sido propostas anteriormente, em relação aos impactos de alagamento e consequente desmatamento de florestas nativas e intervenções em calhas de rios. Assim, enquanto as alternativas anteriores previam barragens e reservatórios com importante área alagada, o projeto atual prevê na captação um barramento de apenas 1 m de altura no rio Sertãozinho, para direcionar o fluxo d'água preferencialmente para o canal de captação. Essa solução, aliada ao aproveitamento de antigos caminhos existentes que serão reabilitados como acesso às obras de captação e para a implantação da adutora aérea, minimiza a necessidade de desmatamento.

O sistema de abastecimento de energia foi dimensionado para permitir uma elevação das águas desde a cota 720 m da soleira do barramento até o divisor entre as bacias do Itapanhaú e Biritiba na cota 801 m (desnível geométrico de 81 m), onde se situa a caixa de transição da adutora em recalque para gravidade. Segue depois por gravidade rumo ao norte até a várzea do ribeirão Biritiba-Açu onde será instalada estrutura de deságue para dissipação de energia.

O estudo hidrológico LABSID (2015) concluiu que é possível bombear em média cerca de 2,06 m³/s do ribeirão Sertãozinho para o reservatório Biritiba, que pertence ao Sistema Alto Tietê como pode ser visto no mapa do ANEXO 2, e o volume deslocado para jusante é em média de 1,5 m³/s. A retirada representa um valor muito significativo, em face do armazenamento atual do Sistema Alto Tietê, que, no momento que o projeto foi elaborado, tinha sua produção reduzida para 12 m³/s (redução de 20% da capacidade) devido à crise hídrica enfrentada. Isso aumenta significativamente os níveis de segurança do Sistema possibilitando que os efeitos de períodos hidrológicos adversos futuros possam ser melhor contornados e eventualmente evitados. Com base nos resultados do Balanço Hídrico, conclui-se que é possível retirar a vazão de 2,5 m³/s do rio Itapanhaú, no ponto de captação estimado, para a bacia do Alto Tietê. A disponibilidade hídrica disponível para jusante na captação de Riviera São Lourenço, Sabesp e City Acarau satisfaz o critério de outorga (50% $Q_{7,10} = 1.224$ m³/s) uma vez que seu valor é maior que as vazões outorgadas neste ponto (0,881 m³/s no verão e 0,765 m³/s no resto do ano).

Figura 24 - ESQUEMA DO SISTEMA PRODUTOR ALTO TIETÊ.



FONTE: SABESP, 2015

Segundo a FCTH (2015), a retirada média de 2,06 m³/s e máxima de 2,5 m³/s do rio Itapanhaú, no ponto de captação estimado, para a bacia do Alto Tietê, não compromete a disponibilidade hídrica para jusante e não causará efeito significativo com relação às vazões mínimas na foz do rio pois a vazão média de longo termo na foz do Itapanhaú passa de 20,28 m³/s (sem a retirada) para 19,96 m³/s (com a retirada para a RMSB), que representa uma redução de 1,6%, considerada de pouca relevância. Mas como não há estudos conclusivos sobre o impacto ambiental causado por uma obra dessas em biomas tão importantes e sensíveis, não é possível afirmar que não há problemas. É importante ressaltar que nesse projeto durante a construção e após a conclusão da obra haverá monitoramento, a jusante da transposição, do volume de chuvas na região, da salinidade, da fauna e flora na restinga e no mangue e da qualidade da água e da biota aquática.

5.3 ANÁLISE DOS PROJETOS

Neste capítulo, serão analisadas as seguintes variações do projeto de transposição do rio Itapanhaú, mediante os parâmetros definidos no tópico 5.4.1:

- Plano HIBRACE
- Variante I - PDAA 2004
- Variante II - PDAA 2004
- Projeto Atual em Licenciamento

5.3.1 Plano HIBRACE

A análise do projeto mediante os parâmetros escolhidos é:

a) Vazão da Bacia Doadora (m^3/s)

A vazão média prevista para ser retirada da bacia doadora neste projeto é de $3,1 m^3/s$, sendo esta parte da vazão que é responsável pelo abastecimento da população residente na região de Bertioga.

b) Vazão da Bacia Receptora (m^3/s)

A vazão média prevista para abastecer a bacia receptora neste projeto é de $3,1 m^3/s$, sendo esta somada a vazão total produzida pelo Sistema Alto Tietê, elevando a segurança hídrica da RMSP.

c) Qualidade da Água

Dentre todos os projetos analisados neste estudo, o plano HIBRACE é aquele com maior potencial de apresentar impactos negativos na qualidade da água a jusante da captação. Isso porque o volume de água captado é substancialmente maior que os demais (55% maior que do projeto atual) e, portanto, com maior risco de afetar a capacidade de depuração e transporte de sedimentos do rio Itapanhaú.

d) Impacto ambiental

Os impactos ambientais previstos neste projeto podem ser divididos em duas categorias: i) aqueles que afetam a hidrologia do rio e que possuem alto risco de impactar negativamente o equilíbrio dos ecossistemas marinhos dependentes do Itapanhaú (manguezais e restingas); ii) a área de floresta desmatada pelas obras da adutora ou alagadas pelo reservatório intermediário

na região da Serra do Mar. Analisando-se por todos estes aspectos, o plano HIBRACE é o projeto com maior impacto ambiental dentre os 4 estudados.

e) Interferência Municipal

A vazão média prevista para ser retirada da bacia doadora neste projeto é de 3,1 m³/s, sendo esta parte da vazão que é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 56,5 mil pessoas residentes na região de Bertioga (IBGE, 2018), ocasionando uma redução de 16% da vazão da bacia doadora.

f) Interferência Estadual

A vazão média prevista para abastecer a bacia receptora neste projeto é de 3,1 m³/s, sendo esta somada à vazão total de 15m³/s, produzida pela ETA Taiapuêba, que auxilia no abastecimento de aproximadamente 21,4 milhões pessoas residentes na Região Metropolitana de São Paulo (IBGE, 2018), ocasionando em um acréscimo de 21% na vazão da ETA Taiapuêba.

g) Custo da obra

As grandes dimensões atribuídas ao reservatório neste projeto permitem estimar que o mesmo seria o de maior custo, tendo em vista o custo elevado para desmatamento e a área maior de inundação de áreas florestadas.

h) Importância da obra

Esta versão do projeto da transposição do rio Itapanhaú para o Sistema Alto Tietê é o que teria o maior fornecimento de água, pois previa uma vazão de 3,1 m³/s para o SPAT, sendo a melhor opção em questões de abastecimento, principalmente devido a necessidade de segurança hídrica da RMSP.

i) Limitações Legais e Institucionais

No projeto HIBRACE há um reservatório de 15,36 km² e uma vazão de 3,1m³/s, números que dificilmente seriam aceitos por órgãos públicos como Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB que não permitiriam a execução de uma obra desse porte, principalmente devido à área pertencer ao Parque Estadual Serra do Mar, que seria atingido diretamente pelo reservatório de 15,36 km²e contando, ainda, com a possibilidade da interferência do Ministério Público no embargo do empreendimento.

j) Tecnologia Empregada

Embora informações sobre a tecnologia empregada e os sistemas construtivos utilizados no plano HIBRACE sejam escassas, sabe-se que o mesmo previa a implantação de um reservatório no rio Itapanhaú com área alagada de 15,65 km² e vazão regularizada de 3,1 m³/s para transferência ao Sistema Produtor Alto Tietê.

5.3.2 Variante I - PDAA 2004

A análise do projeto mediante os parâmetros escolhidos é:

a) Vazão da Bacia Doadora (m³/s)

A vazão média prevista para ser retirada da bacia doadora neste projeto é de 2,8 m³/s, sendo esta parte da vazão que é responsável pelo abastecimento da população residente na região de Bertioga.

b) Vazão da Bacia Receptora (m³/s)

A vazão média prevista para abastecer a bacia receptora neste projeto é de 2,8 m³/s, sendo esta somada à vazão total produzida pelo Sistema Alto Tietê, elevando a segurança hídrica da RMSP.

c) Qualidade da Água

A captação prevista de 2,8 m³/s, ainda que reduzida em relação ao plano HIBRACE, traz riscos para a qualidade da água do rio Itapanhaú, representando cerca de 14% da vazão total na foz do rio.

d) Impacto ambiental

Há uma redução considerável da área alagada destinada ao reservatório, em comparação ao plano HIBRACE (cerca de metade do previsto originalmente - ou 7,07 km²). Esta situação, contudo, ainda não representa as condições ideais de execução - principalmente quando colocada em perspectiva com o projeto atual, que não possui área alagada.

e) Interferência Municipal

A vazão média prevista para ser retirada da bacia doadora neste projeto é de 2,8 m³/s, sendo esta parte da vazão que é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 56,5 mil pessoas residentes na região de Bertioga (IBGE, 2018), ocasionando uma redução de 14% da vazão da bacia doadora.

f) Interferência Estadual

A vazão média prevista para abastecer a bacia receptora neste projeto é de 2,8 m³/s, sendo esta somada à vazão total de 15m³/s, produzida pela ETA Taiapuêba, que auxilia no abastecimento de aproximadamente 21,4 milhões pessoas residentes na Região Metropolitana de São Paulo (IBGE, 2018), ocasionando em um acréscimo de 19% na vazão da ETA Taiapuêba.

g) Custo da obra

Apesar deste projeto apresentar uma área de reservatório menor em relação ao plano HIBRACE, ainda sim esta possui uma área significativamente grande, onde os custos com desmatamento e inundação de áreas florestadas seriam elevados. Além disso, a variante I possui um grande trecho em túnel, barramento e um método construtivo mais custoso.

h) Importância da obra

Esta versão do projeto da transposição do rio Itapanhaú para o Sistema Alto Tietê previa uma vazão de 2,8 m³/s para o SPAT que apesar de ser um valor menor quando comparado com o projeto HIBRACE, ainda é uma boa opção para o abastecimento e principalmente para a segurança hídrica da RMSP.

i) Limitações Legais e Institucionais

A Variante I - PDAA 2004 prevê um reservatório de 7,07km² e uma vazão de 2,8m³/s. Apesar da redução das dimensões do reservatório e da vazão, ainda haveria muita resistência por parte dos órgãos públicos como CETESB e DAEE, principalmente por conta do Parque Estadual Serra do Mar que ainda seria atingido diretamente pelo reservatório, e haveria também grandes chances dessa obra ser embargada pelo Ministério Público.

j) Tecnologia Empregada

Na Variante I, utiliza-se uma estação elevatória com capacidade de 5 m³/s para realizar a transposição das águas da represa do Itapanhaú para a de Biritiba.

Esta versão do projeto apresenta a solução de adução em túnel, sob maciço de grande altura, que tem continuidade em canal aberto em calha de rio que desemboca no reservatório Biritiba. O Projeto prevê uma adutora de recalque em superfície ao longo de estrada existente, desde a área de captação até a proximidade da rodovia SP-098, seguindo depois por trilha estreita em meia encosta e sobre a canaleta de drenagem da rodovia, em extensão total de 6,8 km. Uma caixa de transição adutora-canal é prevista logo após a transposição do divisor de águas, seguida de canal em gabião em afluente que deságua no ribeirão Biritiba Açu, formador do reservatório Biritiba, por 840 m e canal em gabião desse rio por 1.883 m para evitar instabilidades na calha pela vazão revertida.

5.3.3 Variante II - PDAA 2004

A análise do projeto mediante os parâmetros escolhidos é:

a) Vazão da Bacia Doadora (m³/s)

A vazão média prevista para ser retirada da bacia doadora neste projeto é de 2,8 m³/s, sendo esta parte da vazão que é responsável pelo abastecimento da população residente na região de Bertioga.

b) Vazão da Bacia Receptora (m³/s)

A vazão média prevista para abastecer a bacia receptora neste projeto é de 2,8 m³/s, sendo esta somada à vazão total produzida pelo Sistema Alto Tietê, elevando a segurança hídrica da Região Metropolitana de São Paulo.

c) Qualidade da Água

Idem Variante I - PDAA 2004.

d) Impacto ambiental

O grande diferencial do projeto denominado Variante II - PDAA 2004 em relação ao seu homônimo anterior é a considerável redução da área alagada (de 7,07 km² para 1,26 km²) sem produzir alteração na vazão captada na bacia doadora. Esta diminuição de 82,2% da superfície

alagável na região de mata é um exemplo claro de avanço substancial em termos ambientais sem produzir uma contraparte negativa na vazão aduzida.

e) Interferência Municipal

Idem Variante I - PDAA 2004.

f) Interferência Estadual

Idem Variante I - PDAA 2004.

g) Custo da obra

Embora neste projeto a extensão do túnel seja maior, a área inundada é significativamente menor do que a apresentada na variante I, acarretando uma diminuição no custo da obra.

h) Importância da obra

Esta versão do projeto da transposição do rio Itapanhaú para o Sistema Alto Tietê, previa uma vazão de 2,8 m³/s para o SPAT, e assim como a Variante I esse valor apesar de ser menor quando comparado com o projeto HIBRACE, ainda é uma boa opção para o abastecimento e principalmente para a segurança hídrica da RMSF

i) Limitações Legais e Institucionais

A Variante II - PDAA 2004 prevê um reservatório de 1,36 km² e uma vazão de 2,8 m³/s. Apesar da redução das dimensões do reservatório e da vazão ainda haveria muita resistência por parte dos órgãos públicos como CETESB e DAEE, principalmente por conta do Parque Estadual Serra do Mar que ainda seria atingido diretamente pelo reservatório e haveria grandes chances dessa obra ser embargada pelo Ministério Público.

j) Tecnologia Empregada

Na Variante II, o PDAA estudou um aproveitamento com barramento que proporciona reserva mínima suficiente para uma compensação mensal. Neste projeto a represa apresenta uma área total de inundação de cerca de 1,36 km². A concepção adotada bombeia 2,8 m³/s da represa do Itapanhaú para a de Biritiba.

Assim como a variante I, a variante II apresenta a solução de adução em túnel, sob maciço de grande altura, que tem continuidade em canal aberto em calha de rio que desemboca no reservatório Biritiba. Mas nesse caso, como o reservatório é menor, existe uma tubulação para a captação do reservatório até o túnel.

5.3.4 Projeto Atual em Licenciamento (2015)

A análise do projeto mediante os parâmetros escolhidos é:

a) Vazão da Bacia Doadora (m³/s)

A vazão média prevista para ser retirada da bacia doadora neste projeto é de 2,0 m³/s, sendo esta parte da vazão que é responsável pelo abastecimento da população residente na região de Bertiooga.

b) Vazão da Bacia Receptora (m³/s)

A vazão média prevista para abastecer a bacia receptora neste projeto é de 2,0 m³/s, sendo esta somada à vazão total produzida pelo Sistema Alto Tietê, elevando a segurança hídrica da RMSP.

c) Qualidade da Água

Dentre todos os projetos analisados, o atual é aquele que apresenta maior potencial de redução dos danos causados pela diminuição da vazão a jusante da captação. Isso se deve à vazão de projeto consideravelmente mais baixa do que os demais. Há, entretanto, resultados inconclusivos sobre o real impacto causado na capacidade de depuração do rio Itapanhaú, principalmente em um cenário de aumento das ocupações irregulares (e, conseqüentemente, aumento do despejo de esgoto bruto no rio).

É indicado que sejam feitas novas campanhas de monitoramento hidrológico, levando-se em conta os diferentes cenários futuros.

d) Impacto ambiental

Em termos de área devastada, este projeto aproxima-se muito da condição ótima de execução da obra, por apresentar uma superfície desmatada prevista muito pequena, correspondente apenas ao canteiro de obras para execução e à área destinada à faixa de servidão da tubulação.

Os problemas mais consideráveis, contudo, referem-se aos impactos hidrológicos na região de manguezal e restinga, conforme discutido no tópico acima.

e) Interferência Municipal

A vazão média prevista para ser retirada da bacia doadora neste projeto é de 2,0 m³/s, sendo esta parte da vazão que é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 56,5 mil pessoas residentes na região de Bertioga (IBGE, 2018), ocasionando uma redução de 10% da vazão da bacia doadora.

f) Interferência Estadual

A vazão média prevista para abastecer a bacia receptora neste projeto é de 2,0 m³/s, sendo esta somada à vazão total de 15m³/s, produzida pela ETA Taiacupeba, que auxilia no abastecimento de aproximadamente 21,4 milhões pessoas residentes na Região Metropolitana de São Paulo (IBGE, 2018), ocasionando em um acréscimo de 13% na vazão da ETA Taiacupeba.

g) Custo da obra

O empreendimento está orçado em R\$ 160 milhões. Mesmo sem ter a informação do custo dos outros projetos, podemos levar em consideração que eles têm a construção de um reservatório, o que encarece a obra, o projeto atual é mais barato, devido à remoção completa do reservatório e a utilização de adutoras aéreas, tubulação sustentadas por pórticos ao longo de seu traçado, que diminuem o tempo de implantação e conseqüentemente o custo da obra.

h) Importância da obra

Esta versão do projeto da transposição do rio Itapanhaú para o Sistema Alto Tietê, prevê uma vazão de 2,0 m³/s para o SPAT, a menor dentre as outras versões, apesar disso ainda é uma boa opção para a RMSP pois não se tem mais rios próprios para captação próximos a região e 2,0 m³/s é um valor considerável para o SPAT, principalmente para a segurança hídrica da RMSP.

i) Limitações Legais e Institucionais

No Projeto Atual em Licenciamento -2015 não há reservatório, apenas uma pequena barreira para regularização da vazão, estipulada com um valor médio de 2,0 m³/s, e devido a retirada dos reservatórios intermediários, os órgãos públicos cabíveis como CETESB e DAEE aprovaram a realização da obra. O grande problema foi que o Ministério Público embargou a obra, pois segundo este, os impactos ambientais não foram totalmente esclarecidos no Estudo de Impacto Ambiental elaborado pela empresa interessada no projeto.

j) Tecnologia Empregada

O Projeto Atual em licenciamento eliminou o reservatório, adotando apenas uma barragem em soleira de rachão de 1 m de altura com cota da crista em 720,0 m, que representa níveis típicos do rio para vazões médias. A montante desta soleira há o canal de captação em declive, descendo até a cota 718,0 m, cerca de 1 m abaixo do fundo do rio. No final deste canal haverá uma caixa de concreto que funcionará como poço de sucção das bombas do 1º estágio da elevatória, que levarão as águas para uma caixa de reservação de maior capacidade, onde se situarão as bombas do 2º estágio da elevatória.

Além disso, o projeto prevê a mesma solução de adução por meio de adutora de recalque em superfície até a caixa de transição; mas ao invés de canal em pequeno ribeirão e no rio Biritiba-Açu, a vazão revertida é conduzida por adutora por gravidade até o remanso do reservatório Biritiba, com dispositivo de dissipação e tranquilização das águas no deságue. Esse segundo trecho de adutora será implantado em superfície ao longo de caminho de serviço a ser aberto, seguindo inicialmente o anterior traçado do canal, e depois, a trilha de um antigo caminho abandonado, paralelamente ao ribeirão Biritiba Açu, com uma extensão total de 1.880 m.

5.4 MATRIZ DE DECISÃO

5.4.1 Parâmetros e Pesos.

No presente item procurou-se atribuir notas entre 1 a 5 subjetivamente com base nos dados coletados e compará-los. Como o projeto considerado o melhor, foi adotado aquele que possui o maior valor: o valor 1 foi atribuído para aqueles que obtiveram seu pior desempenho no parâmetro em estudo, e subsequentemente, os projetos intermediários obtiveram notas proporcionais à sua atuação no parâmetro.

Os parâmetros selecionados para estudo foram os descritos a seguir:

a) Vazão da Bacia Doadora

A justificativa deste critério é devido ao fato de o Rio Itapanhaú ser responsável pelo abastecimento da região de Bertioga, portanto, quanto maior o volume de água transposto para outra bacia, menor é o volume restante para o abastecimento da região atendido pela bacia doadora, por isso o peso definido para este critério foi 4.

b) Vazão da Bacia Receptora

A RMSP será a grande beneficiada com a transposição, pois a bacia receptora da transposição é a do Alto Tietê, que produz 15m³/s de água potável fazendo dele o segundo maior sistema da RMSP (SABESP, 2018). Quase todos os mananciais disponíveis para captação de água próximos às cidades já estão sendo utilizados e a interligação dos reservatórios já foi realizada na maioria dos sistemas, por isso começa a se valorizar cada vez mais mananciais que não sejam poluídos e que tenham proximidade com a RMSP, e o Itapanhaú é um dos poucos que ainda se encaixa nesses requisitos. Por isso a vazão média que abastecerá a bacia receptora em cada projeto tem as suas respectivas notas de forma crescente, ou seja, quanto maior a vazão recebida, maior será a sua nota. O peso definido para este critério foi 4.

c) Qualidade da água

Bertioga, hoje, apresenta uma das áreas de mangues mais preservadas da Baixada Santista, porém ainda há despejo substancial de efluentes sanitários nos corpos hídricos. Desta forma, há um risco elevado de aumento da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) caso a vazão do rio seja reduzida. Em caso de elevação da DBO do rio Itapanhaú, haverá um impacto substancial na qualidade da água dos manguezais, pois há uma tendência natural de concentração dos poluentes no estuário do corpo hídrico de despejo.

Como a variação de qualidade da água ocorrerá a jusante do ponto de captação da transposição, não há, em tese, grandes mudanças na qualidade da água utilizada para abastecimento da RMSP. As consequências previstas de alterações a jusante estão contempladas na análise de impactos ambientais.

Levando-se estes fatores em conta, o peso definido para este critério foi 3.

d) Impacto Ambiental

Como em qualquer empreendimento de infraestrutura executado hoje, os impactos de obras deste porte devem ser cuidadosamente analisados, tendo em vista os desdobramentos sociais e ambientais que podem ocorrer sobre o ecossistema e a população afetada.

No caso da transposição do Rio Itapanhaú, a área afetada é particularmente sensível, pois os biomas pelos quais o rio atravessa (Mata Atlântica, manguezais e restingas) estão em situações bastante críticas de conservação no Estado de São Paulo. Avaliou-se a evolução de área devastada de Mata Atlântica entre os projetos estudados, seja pelo desflorestamento ou seja pelo alagamento para criação de reservatórios intermediários.

Sendo assim, tendo em vista a sensibilidade dos ecossistemas afetados e a dimensão do projeto que se pretende executar, o peso definido para este critério foi 5.

e) Interferência Municipal

Em Bertioga, o Rio Itapanhaú tem uma vazão média de 20 mil litros por segundo, sendo responsável pelo abastecimento de aproximadamente 56 mil pessoas. A interferência municipal está diretamente atrelada aos benefícios e malefícios que a transposição acarretará, em relação ao abastecimento da população. O peso definido para este critério foi 2.

f) Interferência Estadual

A RMSP é composta por 39 municípios, considerada como a maior central de riqueza nacional (SUBSECRETARIA DE ASSUNTOS METROPOLITANOS,2018). O aproveitamento das águas do Rio Itapanhaú para a o Sistema Alto Tietê, por meio da ETA Taiapuêba, visa garantir uma segurança hídrica para a RMSP, e com isso, garante o abastecimento da população atendida pelo SPAT - Sistema Produtor Alto Tietê. O peso definido para este critério foi 3.

g) Custo da obra

O custo previsto em reais de cada projeto foi obtido em seus respectivos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e quando necessários, calculados com base nos elementos estruturais presentes no empreendimento em questão, sendo o projeto que possui o maior custo recebeu a menor nota. O peso definido para este parâmetro foi 3.

h) Importância da obra

A escassez hídrica extrema que a RMSP acusou no período de 2013 a 2015, devido principalmente às restrições do Sistema Cantareira, também é preocupante em outros sistemas produtores, especialmente no Alto Tietê, em parte pelo uso desses sistemas para compensar a queda de produção no Cantareira. O Aproveitamento do Rio Itapanhaú, como parte das soluções para este problema, justifica a importância de cada projeto em um cenário regional, por isso o peso desse parâmetro foi 3.

i) Limitações Legais e Institucionais

Durante o primeiro projeto de transposição do rio Itapanhaú, em 1968, não havia grande controle sobre os recursos hídricos como há atualmente por parte dos órgãos públicos como

Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos - SSRH, Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. Atualmente conseguir autorizações para obras desse tipo leva tempo, além da necessidade de se elaborarem estudos como o EIA e RIMA. Por isso, é provável que os projetos que previam reservatórios na Serra do Mar não teriam liberação para ser executados devido ao impacto ambiental relacionado à necessidade de desmatamento para a construção dos reservatórios, e além de todos esses órgãos citados, o Ministério Público teria também o poder de intervir, como foi o caso do projeto de 2015 da SABESP, que tinha a autorização dos órgãos responsáveis, porém quando começou a ser executado foi embargado pela Justiça. Levando em consideração todas essas exigências, o peso definido para este parâmetro foi de 5.

j) Tecnologia empregada

Neste critério, busca-se avaliar a evolução das obras hidráulicas que compõem os projetos de transposição do Rio Itapanhaú. Observando-se a evolução, planejamento e gestão do empreendimento, houve diversas alterações na infraestrutura e tecnologias aplicadas para vencer os desafios do projeto, por isso, o peso definido para este parâmetro foi 2. (SABESP, 2015).

Com os pesos e os parâmetros, determinados foi possível montar a estrutura da matriz de decisão (Figura 25) junto com os projetos já descritos no tópico 5.3.

Figura 25 – ESTRUTURA DA MATRIZ DE DECISÃO

| PARAMETROS | Peso | PROJETOS | | | |
|------------------------------------|------|---------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| | | Plano HIBRACE | Variante I - PDDA 2004 | Variante II - PDDA 2004 | Projeto Atual em Licenciamento |
| Vazão Bacia Doadora | 4 | | | | |
| Vazão Bacia Receptora | 4 | | | | |
| Qualidade da água | 3 | | | | |
| Impacto ambiental | 5 | | | | |
| Interferência Municipal | 2 | | | | |
| Interferência Estadual | 3 | | | | |
| Custo da obra | 3 | | | | |
| Importância da obra | 3 | | | | |
| Limitações Legais e Institucionais | 5 | | | | |
| Tecnologia empregada | 2 | | | | |
| Total | | | | | |
| Soma para mais | | | | | |
| Soma para menos | | | | | |
| Classificação | | | | | |

FONTE: OS AUTORES

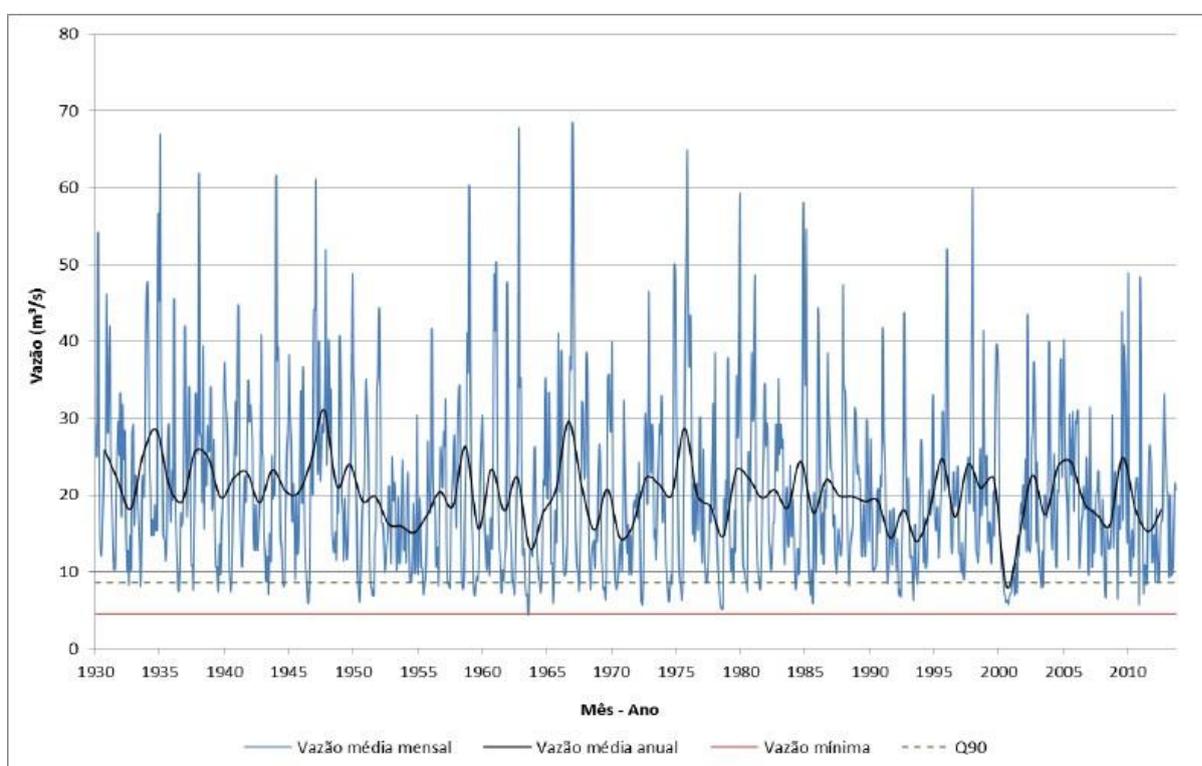
¹As linhas da matriz- soma para mais e soma para menos- fazem parte do critério de desempate definidos pelos autores, o qual será explicado no item 5.4.2.

5.4.2 Concessão de notas

a) Vazão da Bacia Doadora

Segundo o Estudo Hidrológico para a Transferência do Rio Itapanhaú para a Represa Biritiba (LABSID - 2015), as vazões médias mensais e as médias anuais, a vazão mínima (Q_{\min}) e a Q_{90} da série histórica de vazões naturais na foz do rio Itapanhaú são apresentadas na Figura 26. A faixa delimitada entre a Q_{\min} e a Q_{90} marca vazões baixas que ocorreram em vários meses ao longo da série de 83 anos de dados.

Figura 26 - VAZÕES MÉDIAS MENSAIS E ANUAIS, VAZÃO MÍNIMA E Q_{90} DA SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÕES NATURAIS NA FOZ DO RIO ITAPANHAÚ.

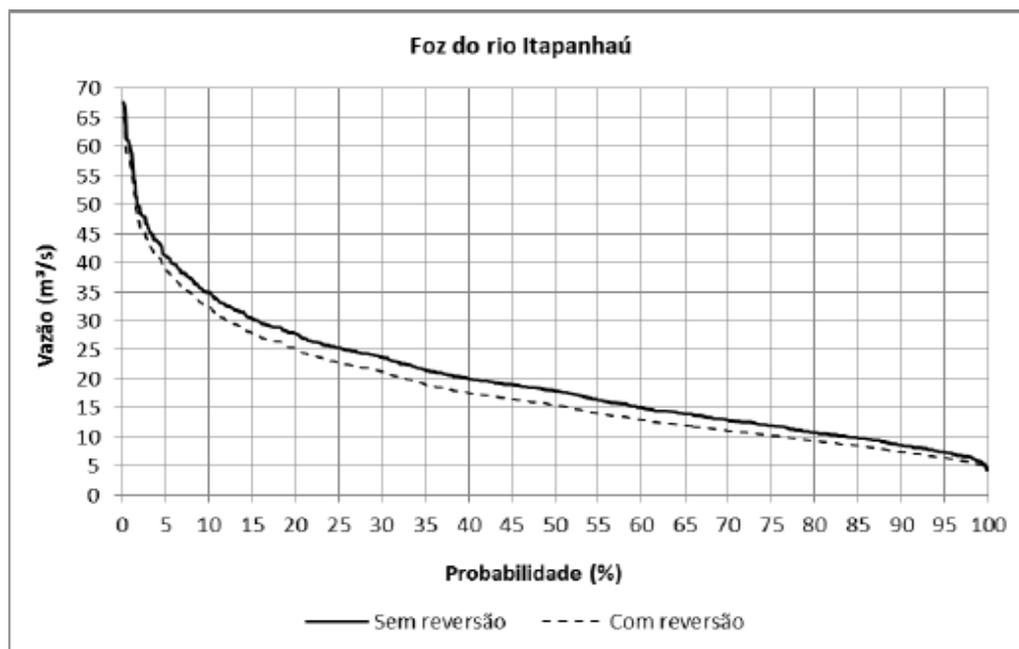


FONTE: LABSID,2015.

Em diversos períodos as vazões médias anuais ficaram bem abaixo da média anual da série histórica (20,26 m³/s). O ano hidrológico mais crítico foi o de 2000-2001 (8,08 m³/s). Isso mostra que o impacto da retirada proposta é muito menor que aquele causado pelas variações hidrológicas ao longo do tempo. Os ecossistemas são formados ao longo de milhares ou milhões de anos em que ocorreram vazões extremas em uma larga faixa de variação. Em resumo pode-se admitir que, entre outros fatores, o ecossistema é o produto da adaptação das espécies ao longo desta ampla faixa, em que ocorreram cheias extremas e secas seríssimas.

A Figura 27 mostra as permanências na foz do rio Itapanhaú sem e com a retirada para a bacia do Alto Tietê. Considerando que a diferença média das vazões que ocorre em 10% do tempo (entre a Q_{90} e a Q_{100}) sem e com a retirada é da ordem de $0,92 \text{ m}^3/\text{s}$, valor bem menor que a vazão mínima da série histórica ($4,31 \text{ m}^3/\text{s}$). Este fato reforça a observação de que a reversão causa baixo impacto nas vazões mínimas.

Figura 27 - PERMANÊNCIA DAS VAZÕES NA FOZ DO RIO ITAPANHAÚ.

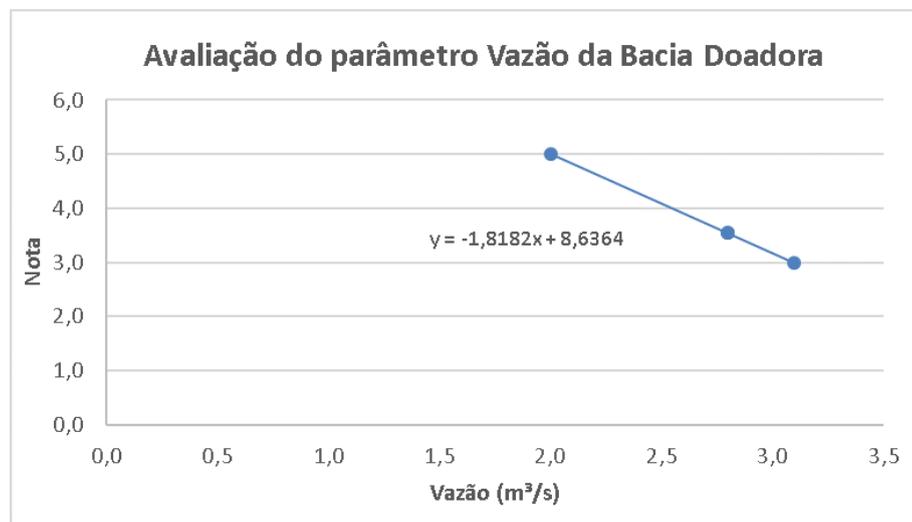


FONTE: LABSID,2015.

Para se avaliar a vazão retirada da bacia doadora, levou-se também em consideração a população da região de Bertioga, cerca de 56 mil pessoas (IBGE -2018), que são diretamente abastecidas pelo rio Itapanhaú, e a população atendida pelo Sistema Alto Tietê, que abriga a RMSP, com 21,4 milhões de habitantes (IBGE,2018). Analisando-se a vazão de água que será retirada da bacia doadora, quanto maior for o volume de água transposto para o SPAT, maior será a redução na vazão a ser distribuída para a região abastecida pelo rio Itapanhaú, por isso, o projeto que prevê a retirada da maior vazão, receberá a menor nota dentre os outros (3), e aquele que prevê a retirada da menor vazão comparado às outras versões, a maior nota (5).

As Variantes I e II que preveem a retirada da mesma vazão, receberão a mesma nota interpolada graficamente entre os valores máximos e mínimos.

Figura 28 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO VAZÃO DA BACIA DOADORA.



FONTE: OS AUTORES

Com a linha de tendência na sua forma linear, obteve-se a equação da curva, que está na figura acima, e assim, pode-se calcular as demais notas como pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 2 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO VAZÃO DA BACIA DOADORA

| Projetos | Vazão (m³/s) | Nota |
|------------------------|---------------------|-------------|
| HIBRACE | 3,1 | 3,0 |
| Variante I | 2,8 | 3,55 |
| Variante II | 2,8 | 3,55 |
| Atual em Licenciamento | 2,0 | 5,0 |

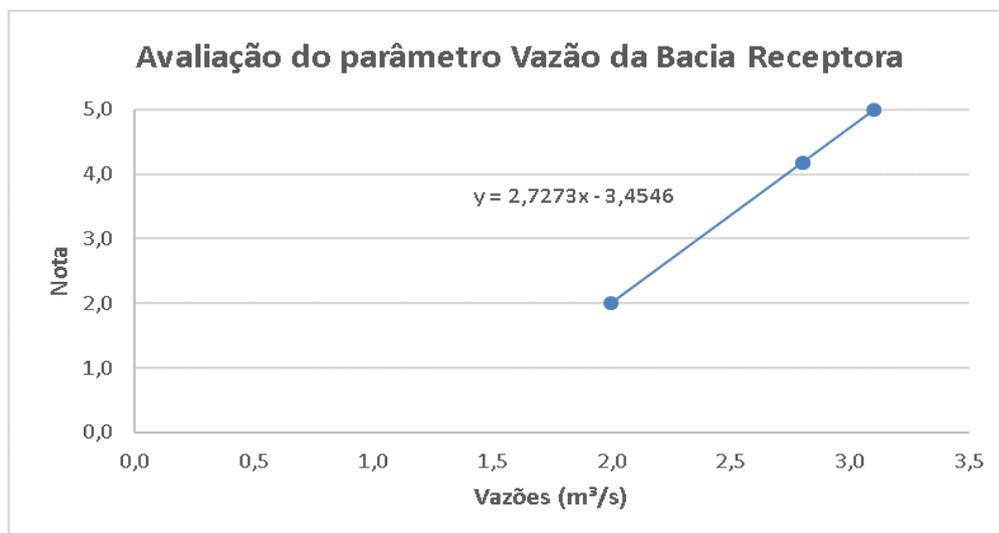
FONTE: OS AUTORES.

b) Vazão da Bacia Receptora

Como praticamente não há fontes de água potável disponíveis para captação próximas a RMSP, quanto maior a vazão recebida pelo Sistema Alto Tietê, melhor seria para o abastecimento da região. O projeto HIBRACE previa a captação de uma vazão média de 3,1 m³/s o que, para a RMSP, seria o melhor projeto, recebendo a nota máxima (5). Com as variantes I e II, que surgiram posteriormente, a vazão média era de 2,8 m³/s, o que ainda representa uma vazão significativa para a RMSP, mesmo com a redução na captação. Já em 2015, quando surgiu a versão atual do projeto de transposição do rio Itapanhaú a vazão média sofreu mais uma alteração, definindo-se como 2,0 m³/s, que comparando os projetos seria a opção mais desfavorável para a RMSP, mas ainda sim ajudaria o Sistema Alto Tietê, contudo, por prover a

menor vazão, este receberá a nota 2. Por isso a vazão média recebida pela bacia receptora cada projeto tem as suas respectivas notas de forma que quanto maior a vazão retirada, maior será a sua nota.

Figura 29 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO VAZÃO DA BACIA RECEPTORA.



FONTE: OS AUTORES.

Com a linha de tendência na sua forma linear, obteve-se a equação da curva, que está na figura acima, e assim, pode-se calcular as demais notas como pode ser visto na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO VAZÃO DA BACIA RECEPTORA

| Projetos | Vazão (m³/s) | Nota |
|------------------------|---------------------|-------------|
| HIBRACE | 3,1 | 5,0 |
| Variante I | 2,8 | 4,18 |
| Variante II | 2,8 | 4,18 |
| Atual em Licenciamento | 2,0 | 2,0 |

FONTE: OS AUTORES, 2018.

c) Qualidade da Água

As previsões de impactos ambientais na região, entretanto, ainda são fruto de grande controvérsia na elaboração e execução do projeto. Prevê-se que qualidade da água a jusante da captação sofrerá consequências consideráveis em sua capacidade de diluição de efluentes, reduzindo-se consideravelmente a qualidade da água do rio Itapanhaú. De acordo com os relatórios de balneabilidade anuais da CETESB, desde 1995 - ano da primeira medição da

balneabilidade na praia da Enseada, onde o rio Itapanhaú deságua - a região da rua Rafael Costabili, no Canal de Bertioga (foz do Itapanhaú, conforme mostrado na Figura 30), disputa com a região da Vista Linda, na mesma praia, o posto de pior qualidade da água da Enseada.

Figura 30 - IMAGEM AÉREA DO MUNICÍPIO DE BERTIOGA.



FONTE: Prefeitura de Bertioga (2016)

Ainda assim, a sua classificação ao longo dos anos, de 1995 a 2017, manteve-se estável, na classe regular, graças aos esforços de expansão da rede de coleta de esgoto em Santos e Guarujá, que despejam parte de seus efluentes no Canal de Bertioga.

Santos apresenta hoje 99,88% de acesso à coleta de esgoto, sendo que 97,63% desta coleta é tratada - para efeito de comparação, em 2007, Santos e São Vicente apresentavam apenas 87% de acesso à rede coletora.

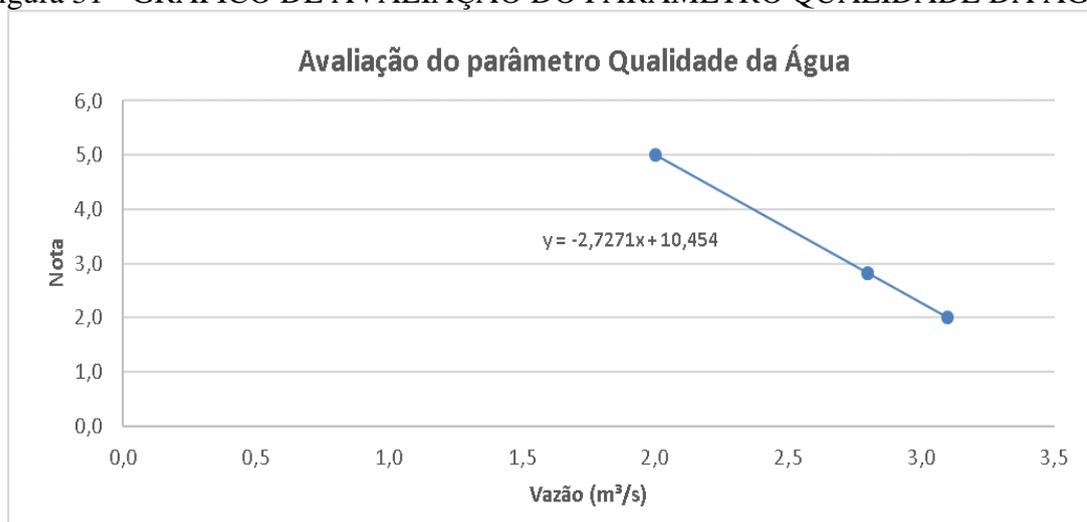
O município do Guarujá, por outro lado, apresenta índices menores de universalização da rede de esgoto: em torno de 72,8% da população tem acesso à rede.

O grande problema da qualidade da água nos rios e praias, entretanto, é o despejo irregular na rede de drenagem, pois uma parte considerável dos efluentes coletados da Baixada Santista é destinada a emissários submarinos - tubulações de grande comprimento utilizadas para lançar o esgoto diretamente em alto-mar, aproveitando-se da capacidade de autodepuração do elevado volume de água marinha.

No Guarujá, com uma população estimada em 318.107 habitantes, cerca de 17,1% das famílias do Guarujá convivem com esgoto a céu aberto. Isso representa o esgoto bruto de 54.397 pessoas, que não passa por nenhum processo de tratamento e que, inevitavelmente, atingirá algum corpo hídrico, seja ele marinha ou fluvial.

Além disso, a redução de vazão do rio Itapanhaú na região de baixada, em que a velocidade de escoamento é invariavelmente mais baixa do que na região de planalto, pode acarretar em um aumento da deposição de sedimentos no leito do rio, evoluindo futuramente para um caso de assoreamento. Por isso, este parâmetro é avaliado da mesma forma que o parâmetro da vazão da bacia doadora, por meio da vazão retirada, onde a vazão máxima recebe a nota 2 e a vazão mínima a nota máxima (5).

Figura 31 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO QUALIDADE DA ÁGUA.



FONTE: OS AUTORES.

Com a linha de tendência na sua forma linear, obteve-se a equação da curva, que está na Figura 31, e assim, pode-se calcular as demais notas como pode ser visto na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO QUALIDADE DA ÁGUA

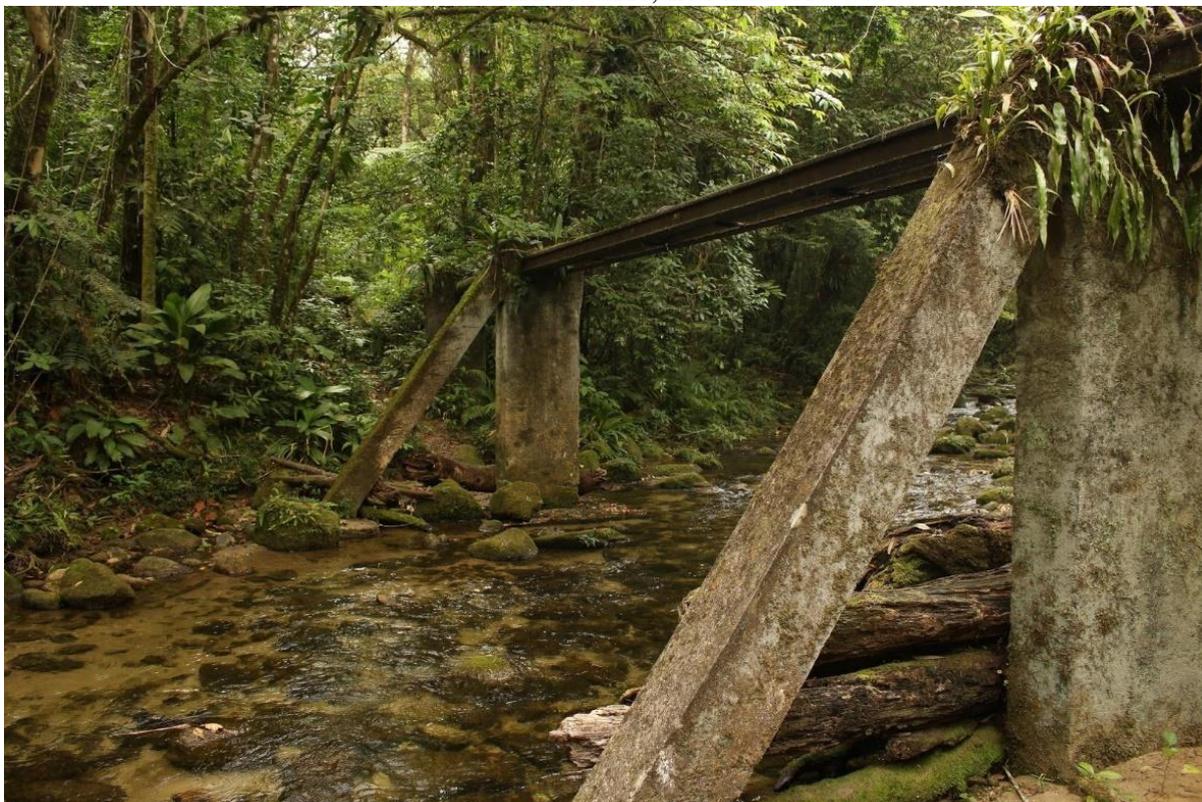
| Projetos | Vazão (m³/s) | Nota |
|------------------------|--------------|------|
| HIBRACE | 3,1 | 2,0 |
| Variante I | 2,8 | 2,82 |
| Variante II | 2,8 | 2,82 |
| Atual em Licenciamento | 2,0 | 5,0 |

FONTE: OS AUTORES, 2018.

d) Impacto Ambiental

O desmatamento causado pela construção da adutora, por outro lado, não apresenta impactos significativos sobre a região de Mata Atlântica pois a tubulação considerada para todos os projetos acompanha parcialmente o trajeto já desmatado da estrada Mogi-Bertioga (SP-98). Na região de floresta, a tubulação será construída parte aérea (conforme Figura 32) e parte enterrada. Haverá o desmatamento de parte da vegetação do entorno da tubulação para consolidação da chamada faixa de servidão, trecho de aproximadamente 0,5 m de largura de cada lado, medidos a partir do centro da tubulação.

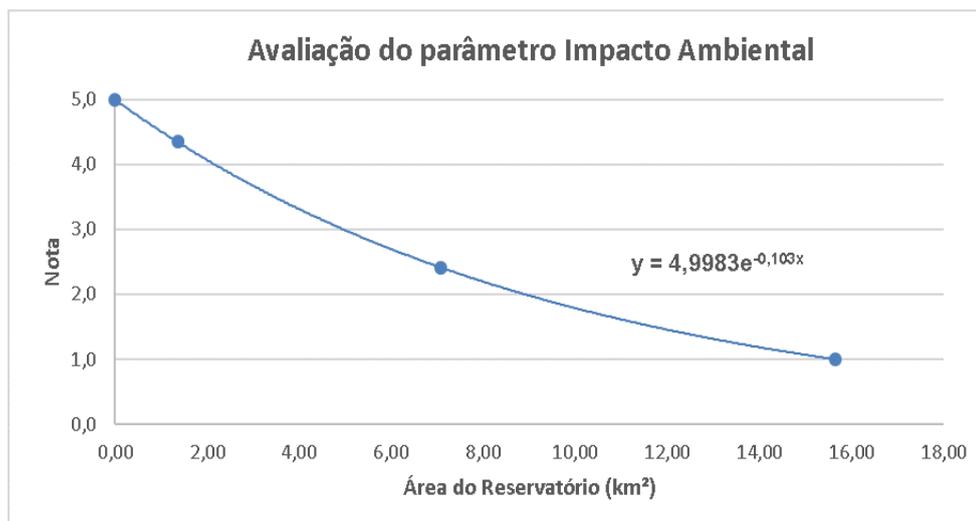
Figura 32 - ADUTORA AÉREA NA REGIÃO DE FLORESTA PARA A TRANSPOSIÇÃO DO RIO GUARATUBA, EM BERTIOGA.



FONTE: OS AUTORES, 2018.

Para atribuição das notas, levou-se em consideração a necessidade de desmatamento para a construção dos reservatórios correspondentes a cada versão do projeto. Como o Plano HIBRACE prevê a maior área de desmatamento, recebe a nota mínima (1) e como o Projeto Atual em Licenciamento não possui esta necessidade, recebe a nota máxima (5).

Figura 33 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO IMPACTO AMBIENTAL.



FONTE: OS AUTORES.

Com a linha de tendência na sua forma exponencial, obteve-se a equação da curva, que está na Figura 33, e assim, pode-se calcular as demais notas como pode ser visto na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO IMPACTO AMBIENTAL

| Projetos | Reservatório (km ²) | Nota |
|------------------------|---------------------------------|------|
| HIBRACE | 15,65 | 1,0 |
| Variante I | 7,07 | 2,41 |
| Variante II | 1,36 | 4,35 |
| Atual em Licenciamento | 0,00 | 5,0 |

FONTE: OS AUTORES, 2018.

e) Interferência Municipal

Segundo o Relatório de Impacto Ambiental, elaborado pela PRIME Engenharia, toda a porção da sub bacia do rio Itapanhaú, a montante do local da captação do rio Sertãozinho, assim como o traçado da adutora e linha de transmissão, estão situados no território do município de Biritiba Mirim, pertencente à RMSP, e o rio Itapanhaú a partir de um ponto pouco a jusante da captação localiza-se na Baixada Santista, para onde as águas desse rio escoam, atingindo o Oceano Atlântico em estuário no município de Bertioga.

O reservatório de Biritiba, que passará a receber as águas captadas na bacia no rio Itapanhaú, situa-se na divisa dos municípios de Mogi das Cruzes e Biritiba Mirim, na região sul dos mesmos, em território da RMSP e da Bacia do Alto Tietê. Assim, pode-se constatar que os municípios de Biritiba Mirim e Mogi das Cruzes têm porções territoriais em ambas as bacias: na porção ao norte, no Alto Tietê Cabeceiras, e ao sul, na região Norte da bacia da Baixada Santista.

A Região Norte da Bacia da Baixada Santista tem seus recursos hídricos praticamente restritos ao uso dos municípios de Bertioiga e Guarujá, uma vez que os outros municípios incidentes utilizam, como mananciais, outros rios pouco extensos e nascem na Serra do Mar e na Planície Litorânea e deságuam no oceano em complexos estuarinos. Assim, o Rio Itapanhaú especificamente auxilia no abastecimento de aproximadamente 56 mil pessoas (IBGE, 2015) residentes em Bertioiga e Riviera de São Lourenço.

A interferência municipal está diretamente atrelada ao benefícios e malefícios que a transposição do Rio Itapanhaú acarretará para os municípios que são abastecidos por este rio do Litoral Paulista. Comparando-se e avaliando-se as modificações dos projetos da transposição, com base na vazão retirada na bacia doadora e na população total dos municípios abastecidos, é possível correlacionar estes parâmetros para obter o valor percentual que será reduzido na vazão do rio, impactando na oferta da população atendida pelo rio, conforme apresentado na Tabela 6:

Tabela 6 — ANÁLISE DO PERCENTUAL DE REDUÇÃO NA VAZÃO TOTAL DO RIO ITAPANHAÚ

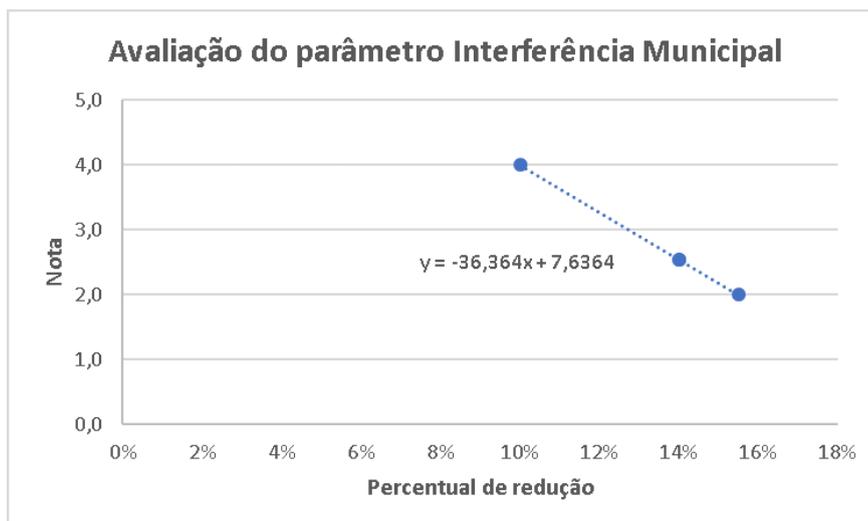
| | Plano HIBRACE | Variante I - PDDA 2004 | Variante II - PDDA 2004 | Projeto Atual em Licenciamento |
|--|---------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Vazão (m ³ /s) | 3,1 | 2,8 | 2,8 | 2 |
| Vazão média do Rio Itapanhaú (m ³ /s) | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| Percentual de redução | 16% | 14% | 14% | 10% |

FONTE: OS AUTORES, 2018

Analisando-se a Tabela 6, é possível constatar que o Plano HIBRACE apresenta a maior desvantagem com relação aos outros projetos, uma vez que a vazão média retirada do rio para a transposição é a maior dentre os projetos observados. Por isso, este receberá a nota mínima (2) correspondente e o Projeto Atual em Licenciamento a máxima (4).

As Variantes I e II receberão a mesma nota interpolada graficamente uma vez que possuem a mesma vazão média.

Figura 34 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO INTERFERÊNCIA MUNICIPAL.



FONTE: OS AUTORES.

Com a linha de tendência na sua forma linear, obteve-se a equação da curva, que está na Figura 34, e assim, pode-se calcular as demais notas como pode ser visto na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO INTERFERÊNCIA MUNICIPAL

| Projetos | Redução | Nota |
|------------------------|---------|------|
| HIBRACE | 16% | 2,0 |
| Variante I | 14% | 2,55 |
| Variante II | 14% | 2,55 |
| Atual em Licenciamento | 10% | 4,0 |

FONTE: OS AUTORES, 2018

f) Interferência Estadual

A reversão da bacia do rio Itapanhaú para o reservatório Biritiba Mirim visa recuperar a oferta e ampliar a segurança hídrica do Sistema Produtor Alto Tietê. O empreendimento permitirá o aumento do volume de água nos reservatórios que compõe o sistema e conseqüentemente possibilita a utilização da capacidade máxima ETA Taiacupeba.

Desta forma, a transposição contribuirá para superar os desafios de abastecimento da RMSP impostos pelas crises hídricas como também para suprir demandas futuras de água dessa região. Segundo o IBGE, a RMSP é a maior região metropolitana do País, com aproximadamente 21,4 milhões de habitantes (IBGE, 2018), número este que tende a aumentar ao longo dos anos.

Para avaliar a interferência estadual, são levadas em consideração as vazões médias concebidas em cada versão do projeto e população que passará a se beneficiar da oferta hídrica que a

transposição proverá, por meio do acréscimo de vazão na ETA Taiapuêba. A análise pode ser observada na Tabela 8:

Tabela 8 — ANÁLISE DO ACRÉSCIMO DE VAZÃO NA ETA TAIAPUÊBA

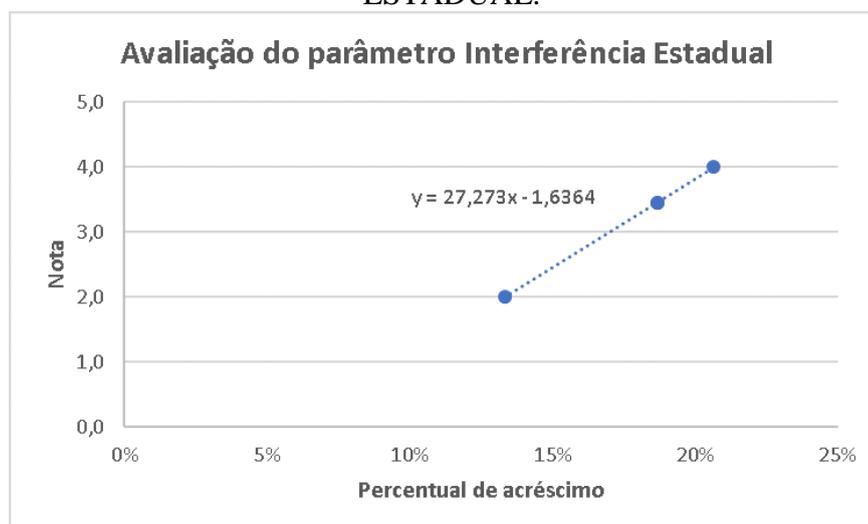
| | Plano HIBRACE | Variante I - PDDA 2004 | Variante II - PDDA 2004 | Projeto Atual em Licenciamento |
|-------------------------------------|---------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Vazão (m³/s) | 3,1 | 2,8 | 2,8 | 2 |
| Vazão média da ETA Taiapuêba (m³/s) | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| Percentual de acréscimo | 21% | 19% | 19% | 13% |

FONTE: OS AUTORES, 2018

Por meio da Tabela 8, pode-se constatar que o Projeto Atual em Licenciamento apresenta a menor oferta de consumo de água a ser concedida aos habitantes da RMSP, por isso, este receberá a menor nota comparado aos outros projetos. E o Plano HIBRACE, por apresentar a maior vazão, conseqüentemente, apresenta a maior oferta de água para a população, por isso este receberá a nota máxima.

As Variantes I e II receberão a mesma nota interpolada graficamente uma vez que possuem a mesma vazão média.

Figura 35 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO INTERFERÊNCIA ESTADUAL.



FONTE: OS AUTORES, 2018

Com a linha de tendência na sua forma linear, obteve-se a equação da curva, que está na Figura 35, e assim, pode-se calcular as demais notas como pode ser visto na Tabela 9:

Tabela 9 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO INTERFERÊNCIA ESTADUAL

| Projetos | Acréscimo | Nota |
|------------------------|-----------|------|
| HIBRACE | 21% | 4,0 |
| Variante I | 19% | 3,45 |
| Variante II | 19% | 3,45 |
| Atual em Licenciamento | 13% | 2,0 |

FONTE: OS AUTORES, 2018.

g) Custo da Obra

De acordo com o Estudo de Impacto Ambiental fornecido pela PRIME Engenharia, o custo das obras de aproveitamento das águas do rio Itapanhaú foram otimizados conforme os projetos evoluíram. Neles, o principal aspecto que agregava valor ao custo final era o tamanho do reservatório e o método construtivo empregado.

No plano HIBRACE, embora a bibliografia careça de informações sobre o projeto, estima-se que foi o projeto mais custoso, tendo em vista sua enorme área projetada para o reservatório e o conseqüente custo associado ao desmatamento dessa área. Portanto, considerando-se o mais caro, receberá a nota mínima.

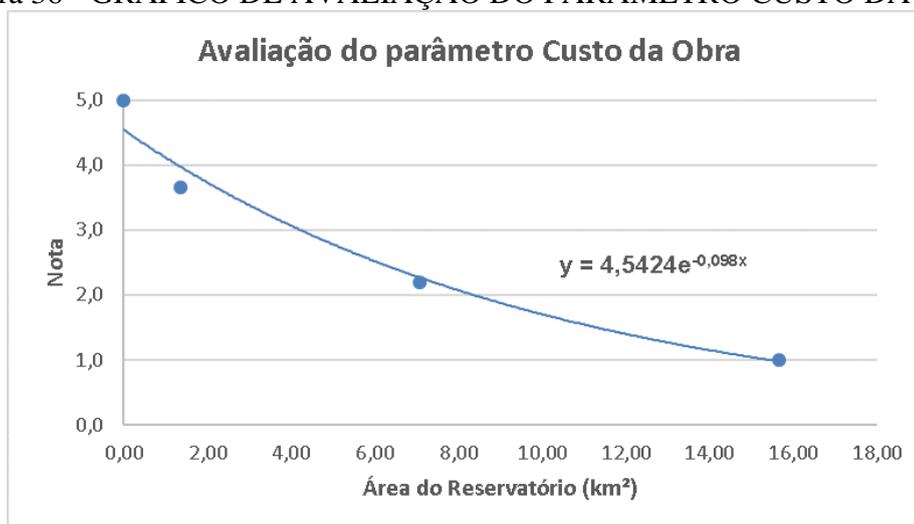
Já o PDAA - Variante I, o qual não são fornecidas informações suficientes para calcular o custo final, apresenta uma área de inundação menor que a metade do projeto anterior. Estima-se, portanto, que o custo dessa obra tenha sido menor que o Plano HIBRACE. No entanto, neste

projeto, a utilização de longos trechos em túnel resulta num significativo acréscimo no custo final da obra, visto que o método construtivo utilizado para tal demanda muito mais tempo. Por apresentar tanto acréscimos como reduções significativas no custo final, a nota atribuída a este projeto será interpolada graficamente com base no tamanho do reservatório e presença de trecho em túnel.

Logo em seguida, apesar do PDAA - Variante II apresentar muitas similaridades com o projeto anterior, o reservatório projetado sofreu uma drástica redução, resultando diretamente no custo final do projeto. Portanto, a nota atribuída será calculada da mesma forma que a Variante I, pois também apresenta longos trechos em túnel, porém com uma área alagada muito menor, diminuindo gastos com desmatamento e tempo de execução da obra.

Por fim, estima-se que o valor final do projeto em licenciamento (R\$ 160 milhões) seja o menor dentre os projetos, pois nele o reservatório foi eliminado e o emprego de adutoras aéreas permitem que a obra seja executada mais rapidamente. Portanto, a nota atribuída a ele é a máxima.

Figura 36 - GRÁFICO DE AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO CUSTO DA OBRA



FONTE: OS AUTORES, 2018.

Com a linha de tendência na sua forma exponencial, obteve-se a equação da curva, que está na Figura 36, e assim, pode-se calcular as demais notas como pode ser visto na Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO CUSTO DA OBRA

| Projetos | Reservatório (km²) | Trecho da captação em túnel | Nota |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| HIBRACE | 15,65 | 0,0 | 1,0 |
| Variante I | 7,07 | 1,0 | 2,19 |
| Variante II | 1,36 | 1,0 | 3,65 |
| Atual em Licenciamento | 0,00 | 0,0 | 5,0 |

FONTE: OS AUTORES, 2018.

h) Importância da Obra

A reversão da bacia do rio Itapanhaú para o reservatório Biritiba objetiva recuperar o estoque e ampliar a segurança hídrica do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT), aumentando o volume de água armazenado nos reservatórios que integram esse sistema e proporcionando a utilização plena da capacidade da ETA Taiapuê. E dessa forma, contribuir para vencer o desafio de abastecer a RMSP, tanto no momento de crise hídrica atual, como para suprir demandas futuras de água dessa região populosa e com severa escassez hídrica.

Cada versão do projeto de transposição do rio Itapanhaú para o Sistema Alto Tietê surgiu em uma época diferente, para situações diferentes com relação a oferta hídrica para a Região Metropolitana de São Paulo. Começando pelo plano HIBRACE, que surgiu com o propósito de garantir uma oferta de água para a região de São Paulo que estava em expansão na década de 60, posteriormente, as Variantes I e II previam garantir uma segurança hídrica para a RMSP, e com a crise hídrica de 2014, o Projeto Atual em Licenciamento, elaborado em 2015, coloca o aproveitamento das águas do rio Itapanhaú como um projeto que visa suprir a falta de água para a RMSP, garantindo a oferta hídrica para o SPAT.

Para a análise deste parâmetro, é levada em consideração a necessidade atual da RMSP, onde ainda são sentidos os efeitos da crise hídrica e ainda há busca por novas opções de fontes de abastecimento. Analisando os projetos, busca-se por aquele que melhor atenda às necessidades, aliado às questões de abastecimento e baixo impacto ambiental, como é visto no Projeto Atual em Licenciamento, sendo este o que recebe a nota máxima (5). Como todas as outras versões preveem a construção de reservatórios e necessidade de desmatamento para a construção da adução subterrânea, o tamanho do reservatório será o critério de diferenciação das notas, portanto, a configuração pode ser observada na Tabela 11:

Tabela 11 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO IMPORTÂNCIA DA OBRA

| Projetos | Nota |
|------------------------|-------------|
| HIBRACE | 1,0 |
| Variante I | 2,0 |
| Variante II | 3,0 |
| Atual em Licenciamento | 5,0 |

FONTE: OS AUTORES, 2018.

i) Limitações Legais e Institucionais

A transposição do rio Itapanhaú pelo projeto atual de 2015 só foi autorizada pela CETESB e DAEE depois de diversos estudos como, EIA, RIMA e o Estudo Hidrológico. Porém, mesmo com essas liberações, o Ministério Público de São Paulo pediu a suspensão dos estudos por parte da CETESB e impede a SABESP de iniciar ou continuar as obras e intervenções no local. Há também grande comoção pública na região de Bertioga para a não realização da obra, diversos representantes de movimentos contrários às obras de transposição do Rio Itapanhaú, em Bertioga, no litoral de São Paulo, realizaram diversos protestos desde o anúncio do projeto.

Isso indica que mesmo para o último projeto, que tem impactos muito reduzidos quando comparados com os demais, já há grandes limitações legais e institucionais, os projetos mais antigos que eram mais prejudiciais ao meio ambiente, seriam praticamente impossíveis de serem aceitos.

Analisando esses pontos, pode-se justificar que quanto maior o reservatório e a vazão média retirada da bacia doadora, maiores são as chances de o projeto não ser liberado para execução, ou seja, menor será a sua nota recebida. Portanto, a configuração final pode ser observada na Tabela 12 a seguir:

Tabela 12 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO LIMITAÇÕES LEGAIS E INSTITUCIONAIS

| Projetos | Nota |
|------------------------|-------------|
| HIBRACE | 1,0 |
| Variante I | 1,5 |
| Variante II | 2,0 |
| Atual em Licenciamento | 3,0 |

FONTE: OS AUTORES, 2018.

j) Tecnologia empregada

Para a atribuição de notas deste parâmetro, é muito importante ressaltar que a quantidade e qualidade da tecnologia empregada variam, de forma inversa, conforme o tamanho do reservatório previsto em cada projeto.

No plano HIBRACE, o reservatório previsto contava com uma área de 15,65 km² e as vazões necessárias ao abastecimento público eram transferidas de um reservatório para o outro, mediante sistemas de bombeamento, até o reservatório de Taiapuêba, onde se encontra a ETA da SABESP. A nota atribuída a este projeto será 1, visto que nele a reversão das águas do rio Itapanhaú não demandava soluções tão complexas.

Com o PDAA - Variante I, o reservatório foi reduzido para menos da metade (7,07km²) do projeto anterior. Em detrimento desta redução, o projeto precisou contar com aduções em túnel até um canal aberto que desemboca no reservatório Biritiba, aumentando a complexidade do projeto, tendo em vista o método construtivo utilizado para os trechos tunelados. Portanto, a nota atribuída à Variante I será 3, pois nele foi necessário um aparato tecnológico mais sofisticado e a introdução de novas técnicas para tornar a obra viável.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, o PDAA-Variante II também teve sua área de reservatório reduzida drasticamente (1,36 km²), precisando da mesma solução do projeto anterior, porém neste caso havia a necessidade de captar a água do reservatório até o trecho de túnel. A nota atribuída à Variante II será 4, devido ao fato do mesmo ser mais complexo que o projeto anterior.

Por fim, a nota atribuída ao Projeto Atual será 5, visto que é o projeto que mais precisa de desenvolvimento tecnológico para transportar as águas da Bacia do rio Itapanhaú para o reservatório de Biritiba Mirim, pois não tem seu reservatório previsto no projeto. A configuração final pode ser observada na Tabela 13, a seguir :

Tabela 13 — NOTAS ATRIBUÍDAS AO PARÂMETRO TECNOLOGIA EMPREGADA

| Projetos | Nota |
|------------------------|-------------|
| HIBRACE | 1,0 |
| Variante I | 3,0 |
| Variante II | 4,0 |
| Atual em Licenciamento | 5,0 |

FONTE: OS AUTORES, 2018.

5.4.3 Critério de Desempate

Comparando algumas possibilidades de análises estatísticas, se obteve como resultante do estudo a utilização da média dos pesos dos parâmetros para definição de uma faixa na qual é considerado o empate; esta faixa pode ser vista na matriz como “soma para mais” e “soma para menos” onde foi somada e subtraída do total de notas de cada solução, respectivamente, a média dos pesos atribuídos. No caso em que o total de notas ficasse dentro deste intervalo criado, era considerado empate; então o critério de desempate considerado foi um dos parâmetros com o maior peso, portanto para o desempate foi o escolhido o parâmetro Impacto Ambiental onde o projeto que possuir a maior nota recebeu a posição de maior classificação nos projetos comparados.

5.4.4 Matriz Final

Com todo o estudo realizado nos tópicos 5.2, 5.3 e 5.4, que fornecem os pesos e notas dos parâmetros sobre cada projeto, foi elaborada uma matriz de decisão para realizar uma análise comparativa entre os projetos discutidos no estudo de caso, em que são avaliados de maneira quantitativa todos os aspectos qualitativos de cada parâmetro. Permite-se assim que, através de um sistema de pesos para cada parâmetro, seja possível estipular qual é o melhor projeto para a transposição do rio Itapanhaú.

A classificação final dos projetos na matriz foi, 4º lugar o Plano HIBRACE, 3º Variante I – PDDA 2004, 2º Variante II – PDDA 2004 e 1º lugar o Projeto Atual em Licenciamento, como é possível ver na Figura 37. Com esse resultado pode-se afirmar que o Projeto Atual em Licenciamento é o que traz a melhor opção de transposição do rio Itapanhaú, quando todos os parâmetros envolvidos são avaliados.

Figura 37 – MATRIZ DE DECISÃO FINAL

| | Peso | PROJETOS | | | | Projeto Atual em Licenciamento |
|------------------------------------|------|---------------|------------------------|-------------------------|------------|--------------------------------|
| | | Plano HIBRACE | Variante I - PDDA 2004 | Variante II - PDDA 2004 | | |
| Vazão Bacia Doadora | 4 | 3 | 3,55 | 3,55 | 5 | |
| Vazão Bacia Receptora | 4 | 5 | 4,18 | 4,18 | 2 | |
| Qualidade da água | 3 | 2 | 2,82 | 2,82 | 5 | |
| Impacto ambiental | 5 | 1 | 2,41 | 4,35 | 5 | |
| Interferência Municipal | 2 | 2 | 2,55 | 2,55 | 4 | |
| Interferência Estadual | 3 | 4 | 3,45 | 3,45 | 2 | |
| Custo da obra | 3 | 1 | 2,19 | 3,65 | 5 | |
| Importância da obra | 3 | 1 | 2 | 3 | 5 | |
| Limitações Legais e Institucionais | 5 | 1 | 1,5 | 2 | 3 | |
| Tecnologia empregada | 2 | 1 | 3 | 4 | 5 | |
| Total | | 72 | 92,95 | 114,53 | 137 | |
| Soma para mais | | 72 | 109 | 127 | 137 | |
| Soma para menos | | 72 | 80 | 103 | 137 | |
| Classificação | | 4° | 3° | 2° | 1° | |

FONTE: OS AUTORES, 2018.

6. CONCLUSÃO

As consequências da crise hídrica justificaram a influência do regime hidrológico sobre os sistemas de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. A ríspida ausência de chuvas no período de maior consumo da região, aliada à crescente expansão da área urbanizada da RMSP que acarreta o aumento da poluição de fontes de águas locais, levando à busca por mananciais cada vez mais distantes, foi decisiva na falta de água para esta região. A gestão dos recursos hídricos orientada pelo Governo do Estado de São Paulo, em conjunto com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo -SABESP, indicou que a interligação de reservatórios era o meio mais eficiente para garantir o abastecimento da população e, mesmo em tempos de falta d'água em uma parte da região, o sistema formado seria capaz de transpor águas para as áreas prejudicadas.

A transposição de bacias hidrográficas é uma medida consolidada e bastante eficiente na gestão dos recursos hídricos regionais. Existem muitos exemplos de transposições no contexto global e, mesmo sendo uma solução recorrente, há, por vezes, uma resistência por parte da população à adoção deste tipo de medida. Em geral, os pontos de maior questionamento neste tipo de empreendimento estão relacionados com os impactos ambientais e sociais - como no caso da transposição do Rio São Francisco, no semiárido brasileiro. Esta obra foi bastante discutida durante seu planejamento e execução, principalmente em relação às consequências hidrológicas a jusante da captação em relação à vazão original. Além disso, foi fruto de discussões o trajeto determinado pelos projetistas. De acordo com os críticos, a adução não atingiria a população com maior carência de água e não apresentaria uma relação custo-benefício eficiente. Estabeleceu-se assim, na população brasileira, uma rejeição a empreendimentos desta natureza, muito por conta das discussões ocorridas à época.

Existe, entretanto, uma grande diversidade de maneiras de execução de transposições. O aproveitamento das águas do rio Itapanhaú para o reservatório Biritiba, pertencente ao sistema Alto Tietê que faz parte do sistema de abastecimento da RMSP, surgiu na década de 60, e se manteve como uma opção válida por todos os anos que se passaram até 2015, quando na crise hídrica o projeto fora aprovado pelo Governo do Estado de São Paulo, e subsequentemente pela SABESP e órgãos cabíveis, uma vez que a bacia do rio Itapanhaú é uma das fontes de água potável inexploradas pelo sistema de abastecimento da RMSP que está consideravelmente próxima à região de São Paulo.

Por meio da análise da matriz apresentada, é possível depreender que o projeto atual possui os parâmetros mais adequados, sob o ponto de vista ambiental - algo que já era esperado, tendo em vista que, para atingir a presente condição, o projeto de transposição do rio Itapanhaú passou por sucessivas revisões ao longo dos últimos 50 anos. Além disso, sob o ponto de vista dos parâmetros: vazão retirada da bacia doadora, qualidade da água, interferência municipal, custo da obra e importância da obra, o projeto foi avaliado com a melhor nota. Dessa forma, foi imperioso que, para se adequar às legislações contemporâneas à época de elaboração, o projeto evoluísse em sintonia com elas.

Abrangendo a melhor pontuação em diversos parâmetros da matriz de análise multicritérios, fica claro que o projeto de transposição do rio Itapanhaú fora reavaliado, buscando-se sempre a sua melhoria a fim de atingir a sua melhor forma, com maior eficiência em questões de abastecimento da RMSP, menor impacto ambiental para a região de Bertioga e da Serra do Mar, menor incidência de efeitos na qualidade da água tanto na região de montante como de jusante da bacia do rio Itapanhaú e também apresenta um custo consideravelmente cabível em relação à proporção de custo/benefício do projeto, fazendo-se o investimento do Governo do Estado neste projeto algo que de fato trará melhorias para a RMSP.

Por outro lado, é válido destacar o salto qualitativo em 2004, ano da elaboração do PDAA. Dentre as duas variantes apresentadas, houve uma grande evolução em termos da área que seria alagada pelo reservatório - da ordem de 82% - sem que tenha havido alteração na vazão captada para a RMSP.

A redução de 35% da vazão originalmente prevista pelo projeto HIBRACE, ainda que substancial, não traz grandes consequências para o planejamento do sistema de abastecimento da RMSP como um todo, pois o empreendimento estudado foi desenvolvido como uma obra de contingenciamento, e não como parte do sistema permanente de abastecimento. O sistema só seria indispensável, portanto, em caso de desabastecimento, como o ocorrido na crise hídrica de 2014

É importante salientar que, mesmo com a evolução dos critérios utilizados para elaborar-se um projeto de transposição, eles encontram-se saturados, principalmente quando vislumbrado no horizonte o cenário de alteração do regime pluviométrico médio, como consequência direta dos efeitos de mudanças climáticas. O presente estudo busca orientar a adoção desta diretriz em projetos futuros de captação de água ou de planejamento e gestão do sistema de abastecimento como um todo.

Este tipo de estudo carrega consigo a importância de ajudar os projetistas a preverem riscos de redução da vazão, por conta de estiagens prolongadas ou, sob outra ótica, avaliarem potenciais pontos de captação que estão sujeitos à alta da pluviosidade - e, portanto, com chances de aumentarem sua capacidade de abastecimento.

Por fim, deve-se destacar que, por se tratar de uma análise que mensura muitos pontos de maneira qualitativa, e não quantitativa, os resultados presentes na matriz estão sujeitos a questionamentos, a depender da metodologia e perspectiva adotadas no estudo. Contudo, é importante que seja parametrizado o maior número possível de variáveis, de maneira a tornar a avaliação mais técnica e menos sujeita a interpretações subjetivas.

7. RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

Mediante situações de crise, a gestão dos recursos hídricos da região é fundamental para garantir o abastecimento da população. A transposição de bacias hidrográficas encontra-se dentro do leque de opções para se conter ou até evitar uma crise hídrica, tendo um certo destaque uma vez que esta solução oferece uma relação de custo benefício elevada.

A matriz de decisão utilizada para avaliação dos projetos de transposição do rio Itapanhaú pode ser utilizada também para avaliar outros projetos de transposição e as diferentes soluções adotadas pela gestão pública para garantir a oferta de água para a população.

A análise da transposição do rio Itapanhaú mostrou que o projeto fora adaptado para atender à demanda crescente por água da população atendida, sem causar tantos danos aos biomas e a população da bacia doadora. Porém, estes impactos ambientais podem ser estudados mais a fundo, com relação aos possíveis efeitos que a diminuição da vazão do rio pode trazer para as matas ciliares. Para tanto, é imprescindível que os órgãos competentes invistam em pesquisas e modelagens matemáticas para estudar mais a fundo os impactos na meteorologia regional em função das alterações do clima

8. REFERÊNCIAS

- ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA (2013). **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medida para efetivo combate.**
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS/CB-177 - **Comitê Brasileiro de Saneamento Básico.**
- ALCANTARA, M.C. **Estudo demográfico. Relatório Técnico.**
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação.** 2015
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano de Ações Complementares para a Gestão da Crise Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul.** 2015
- BALLSCHMIEDER, MANFRED. **Conceito de Matriz de Decisão**, Abril 2002. Disponível em: <<http://www.emprende.gmxhome.de/htm/doc/41ianex14.pdf>>. Acesso em: 21 de outubro de 2018.
- BARRELLA, W. et al. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes.** In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação.** 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BRAGA, C.F.C.; DE NYS, E; et al. **Livro 8 - Série Água: Impacto das Mudanças do Clima e Projeções de Demanda Sobre o Processo de Alocação de Água em Duas Bacias do Nordeste Semiárido.** 2013
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **CONAMA. Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005 – In: **Resoluções**, 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 06 de junho de 2018.
- BUENO, S. **Vocabulário Tupi-Guarani português.** 7.ed. São Paulo: Vida, 2013.
- CANCIAN, N.; LOBEL, F. **Crise da Água: Relator da ONU cita SP e declara que clima não é desculpa para falta d'água.** Folha de São Paulo, São Paulo, 15 abr. 2018. Cotidiano, p. 1.
- DE CASTRO, C.; VARJABEDIAN, Geraldo; WHATELY, Marussia. **Nem tão certa nem tão líquida.** Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/opiniao/2018/02/cadu-de-castro-geraldo-varjabedian-marussia-whately-nem-tao-certa-nem-tao-liquida.shtml?loggedpaywall>> Acesso em: 24 mar. 2018.
- DUARTE, S. N; SILVA, E. F.F.; SILVA, I. J. O.; SOARES, T. M. **Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa.** 2006.
- ENCIBRA S.A. RIMA- **Relatório de impacto ao meio ambiente - Estudo de concepção e projeto básico do sistema produtor São Lourenço.** São Paulo: Prime Engenharia, 2011.
- FABHAT - Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos - Bacia Hidrográfica do Alto Tietê UGRHI 06.** 2006

FEIJÓ, R., TORGGLER. S. **Política de Combate à Seca: Há Alternativas Mais Eficientes que a Transposição do Rio São Francisco?**. Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA, 2006.

FONTES, L. C. S. **Transposição: água para todos ou para poucos? Anatomia da maior fraude hídrica e de conflito federativo de uso da água no Brasil**. Revista do Comitê da bacia do rio São Francisco, n.1, p.60-73, 2007.

HENTHORNE, L. **Desalination - a critical element of water solutions for the 21th century**. The International Desalination Association (IDA), 2009.

IBGE. **Censos Demográficos SMDU/Dipro - Retroestimativas e Projeções**. São Paulo, 2017

LABSID. **Estudo Hidrológico para Transferência do Rio Itapanhaú para a Represa Biritiba (Sistema Alto Tietê)**. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2015.

LABSID. **Estudo da Vazão na Área de Restinga do Rio Itapanhaú após a Captação para o Sistema Alto Tietê**. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016.

MARENGO, J.A. **Águas e mudanças climáticas**. Estud. av., São Paulo, v.22, n.63, p.83-96, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 25 de maio de 2018.

MILLY, P.C.D.; DUNNE, K.A.; VECCHIA, A.V. **Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate**. 2005.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO/ECOLOGIA BRASIL. **RIMA. – Relatório de impacto ambiental do projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do nordeste setentrional**. Ministério da Integração, 2004

NASCIMENTO, E.F; CHECCHIA, I.C; ALFARO, J.E; BARCIA, P.J.F. **Análise de Soluções para Suprir o Abastecimento de Água da Macrometrópole de São Paulo**. São Caetano do Sul. 2016.

NEPOMUCENO, P.R. **O Complexo Alto Tietê e o Abastecimento da RMSP**, Abril 1999. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/relatorios/revista/raee9904/alto_tiete.htm>. Acesso em: 24 de agosto de 2018.

RODRIGUES, C.; VILLELA, F. N. **Disponibilidade e escassez de água na Grande São Paulo. Elementos-chave para se compreender a origem da atual crise de abastecimento**. São Paulo: USP, 2015.

SABESP. **CHESS - Crise Hídrica, Estratégia e Soluções da SABESP**. São Paulo. 2015

SABESP/PRIME ENGENHARIA. **EIA - Estudo de Impacto Ambiental das Obras de Aproveitamento da Bacia do Rio Itapanhaú para Abastecimento da RMSP**. Processo IMPACTO 166/15. Prime Engenharia. 2015.

SABESP/PRIME ENGENHARIA. **RIMA - Relatório de Impacto Ambiental das Obras de Aproveitamento da Bacia do Rio Itapanhaú para Abastecimento da RMSP**. Processo IMPACTO 166/15. 2015.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos 2016-2019**. São Paulo, 2017. 241p.

SUBSECRETARIA DE ASSUNTOS METROPOLITANOS. **Região Metropolitana de São Paulo**. Disponível em:

<<http://www.assuntosmetropolitanos.sp.gov.br/UnidadesRegionais/RMSP>>. Acesso em 24 de outubro de 2018.

TAPIA, C.E; MATOS, E.R; NEGRINI, M.D; ROGRIGUES, R.B; RONCOLATO, R.A. **Transposição de águas do Rio São Francisco**. São Caetano do Sul, 2006.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**. 2006.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 4ª Edição. São Paulo, 2006.

TOMAZ, P. **Critério Unificado para Manejo das Águas Pluviais em Áreas Urbanas**. Capítulo 15-Vazão base e vazão mínima ecológica. São Paulo, 2012.

ANEXOS

ANEXO1: EIA/RIMA Aproveitamento do Rio Itapanhá - Relatório de Informação Complementar Vegetação no Médio e Baixo Itapanhá Situação Atual

ANEXO 2: EIA/RIMA Aproveitamento do Rio Itapanhá - Planta de Localização

ANEXO 3: EIA/RIMA Aproveitamento do Rio Itapanhá – Alternativas de Traçado, Barragem e Reservatório