

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

R6: MODELAGEM HIDROLÓGICO- HIDRÁULICA

Preparado para:

AGEVAP

Setembro 2013

VERSÃO FINAL

PSR

SUMÁRIO

Sumário Executivo	6
1 Introdução.....	9
2 Metodologia.....	11
2.1 Equação de balanço hídrico nos nós do sistema.....	11
2.2 Enchimento / esvaziamento dos reservatórios.....	12
2.3 Produção e consumo de energia	15
2.4 Vertimento de superfície e de fundo.....	16
2.5 Manutenção	17
2.6 Função objetivo	17
3 Dados Utilizados	19
4 Resultados	24
4.1 Trecho paulista junto ao município de Jacareí	25
4.2 Trecho junto à captação em Santa Cecília.....	29
4.3 Trecho junto ao município de Campos.....	33
5 Conclusões.....	37
6 Referências	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Limites de capacidade dos arcos.....	6
Figura 2: Limites de capacidade dos arcos.....	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m ³ /s) – Trecho junto à captação em Santa Cecília	7
Tabela 2: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m ³ /s) – Trecho junto ao município de Campos	7
Tabela 3: Perda energética por transposição prevista	7
Tabela 4: Vazão de Captação no rio Paraíba do Sul para transposição à Macrometrópole de São Paulo	24
Tabela 5: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m ³ /s) – Trecho junto à captação em Santa Cecília	37
Tabela 6: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m ³ /s) – Trecho junto ao município de Campos	37
Tabela 7: Perda energética por transposição prevista	38
Tabela 8: Vazões de retirada simuladas e restrições de vazão estabelecidas em decreto	38

LISTA DE SIGLAS

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

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

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

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

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

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

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

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

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

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Light – Serviço de Eletricidade S/A.

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Cenário	Alternativa	Vazão de Permanência (m³/s)		Diferença de Vazão (m³/s)	
		95%	100%	Dif:95%	Dif:100%
2010	A0	211,52	72,50		
	A7	206,81	69,89	-4,71	-2,61
	A10	181,23	57,08	-30,29	-15,43
2025	A0	204,74	67,98		
	A7	197,62	65,37	-7,12	-2,61
	A10	174,04	52,57	-30,70	-15,42
2035	A0	198,56	63,70		
	A7	191,24	61,17	-7,32	-2,53
	A10	168,72	48,28	-29,84	-15,42

Tabela 1: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m³/s) – Trecho junto à captação em Santa Cecília

Como pode ser visto na Tabela 6, o trecho junto ao município de Campos, a diferença quantitativa entre a situação atual (alternativa A0) e o Arranjo 10 (alternativa A10) é de 11 m³/s para o cenário de 2035 e uma permanência de 95%, o que decresce para a 7 m³/s para uma permanência de 100% para o mesmo cenário. Cabe frisar que não foi analisado possível impacto a qualidade da água como o aumento da intrusão salina no rio Paraíba do Sul.

Cenário	Alternativa	Vazão de Permanência (m³/s)		Diferença de Vazão (m³/s)	
		95%	100%	Q _{95%}	Q _{100%}
2010	A0	343,26	175,76		
	A7	341,80	171,85	-1,46	-3,91
	A10	336,25	166,06	-7,01	-9,7
2025	A0	344,28	175,91		
	A7	340,36	172,34	-3,92	3,57
	A10	332,56	167,65	-11,52	-8,26
2035	A0	337,59	170,03		
	A7	335,89	167,49	-1,7	-2,54
	A10	326,36	162,29	-11,23	-7,74

Tabela 2: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m³/s) – Trecho junto ao município de Campos

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

Entretanto, essas perdas energéticas representariam R\$ 20 milhões anuais de prejuízo para as geradoras com as usinas com potência maior que 30MW instaladas na bacia, sem levar em conta as perdas pelo acionamento de térmicas e as perdas nas PCHs de Queluz, Lavrinhas e da futura usina de Itaocara.

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

Tabela 3: Perda energética por transposição prevista

Vale ressaltar que a modelagem das perdas energéticas consiste no sistema instalado no rio Paraíba do Sul e que não foram alteradas as regras operativas estabelecidas pelo Operador Nacional do Sistema – ONS. Nesse sentido, vazões de transposições definidas, como por exemplo, o Complexo Hidrelétrico de Lajes, foram mantidas em sua integridade, não resultando em alterações para os sistemas.

1 INTRODUÇÃO

Este documento é o sexto produto previsto na Proposta Técnica do Ato Convocatório nº 18 publicado pela AGEVAP. Como indicado no Plano de Trabalho, o objetivo é apresentar os resultados das modelagens hidrológico-hidráulica dos sistemas de transposições existentes e projetados para a bacia do Rio Paraíba do Sul, com todos os cenários alternativos propostos tanto para os dias atuais quanto para os horizontes de 2025 e 2035.

Para a realização da modelagem, foram consultados os trabalhos referentes aos demais produtos do atual contrato, a saber:

1. Estudos Hidrológicos
2. Estudo das Demandas de Usos Consuntivos e Não Consuntivos
3. Estudos de Qualidade da Água

Os estudos hidrológicos permitiu a compreensão do comportamento do rio Paraíba do Sul visando à avaliação dos recursos hídricos disponíveis e gestão desses recursos. Além disso, tem a intenção de explicitar as vazões médias produzidas na bacia contribuinte, às vazões máximas durante as cheias, as vazões mínimas nos períodos de estiagem e os sedimentos transportados pelos rios como forma fundamental para prever as implantações de qualquer empreendimento na bacia que envolva os cursos d'água.

Os estudos das Demandas de Usos Consuntivos e não consuntivos permite definir uma estimativa de vazão que será consumida (removida) do curso d'água para fins de abastecimento humano, industrial ou agropecuário. Este uso, quando relacionado a um empreendimento, permite uma segurança no posicionamento e no dimensionamento das estruturas hidráulicas, estando diretamente relacionada com a disponibilidade de dados fluviométricos e sedimentométricos.

Por fim, os Estudos de Qualidade da Água permite definir quais são os trechos críticos do corpo hídrico no que consiste a qualidade do insumo, uma vez que a água é fonte vital para todos os usuários.

Sendo assim, o estudo de modelagem hidrológico-hidráulica tem por objetivo relacionar o comportamento do corpo hídrico, a demanda do insumo pelos diversos usuários e a qualidade do recurso natural, de forma a contemplar o cenário atual e os cenários futuros, nos horizontes de 2025 e 2035 uma vez que estão previstas transposições para o rio Paraíba do Sul.

O Estudo de modelagem hidrológica-hidráulica utiliza o modelo PARSUL, que para simulação, utiliza a seguinte topologia: os reservatórios com ou sem geração, as usinas geradoras, as usinas a fio d'água e as captações de água (tal como a Calha Cedae no sistema Light) são representados através de nós, enquanto as interligações entre esses nós são representadas por arcos, como por exemplo, os arcos de vertimento e turbinamento das usinas e reservatórios.

O critério de otimização do modelo leva em conta uma representação multi etapas, onde a decisão tomada na etapa t influenciará diretamente nas etapas seguintes resolvendo o problema de uma vez só e da maneira mais próxima à realidade possível, ao invés de resolvê-lo de

uma maneira “cega”, onde são resolvidos n problemas em n etapas, sendo o elo de ligação entre eles o volume final dos nós no problema t que é igual ao volume inicial do problema t+1, não enxergando o problema nas etapas seguintes.

A topologia adotada para o modelo no conjunto de dados automaticamente instalado pelo modelo PARSUL (subdiretório/dados) estão representados na figura a seguir:

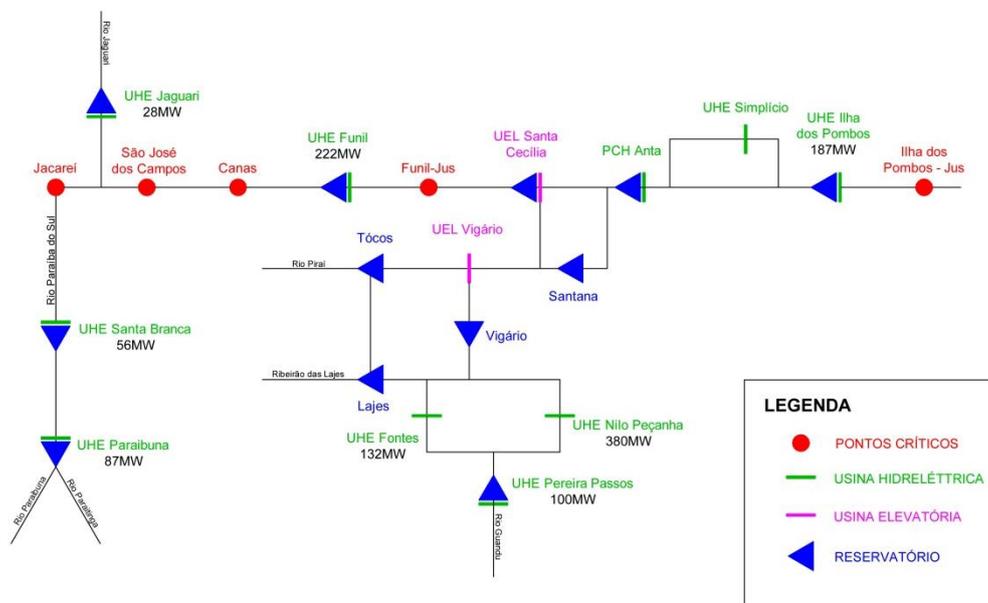


Figura 2: Limites de capacidade dos arcos

A seguir apresenta-se a metodologia do modelo PARSUL e as vazões na captações e reservatórios.

2 METODOLOGIA

2.1 Equação de balanço hídrico nos nós do sistema

Para cada nó do sistema escreve-se uma equação de equilíbrio de massa, que estabelece que a variação do volume estocado (positiva ou negativa) é dada pela diferença entre os volumes afluentes e os volumes defluentes, incluindo evaporação.

A Balanço hídrico para nós com reservatórios

$$V_{i,t+1} + \sum_{keS^-(i)} Q_{k,t} - \sum_{keS^+(i)} Q_{k,t} + E(V_{i,t}) = V_{i,t} + I_{i,t} - U_{i,t} \quad i \in R, t \in T \quad (1a)$$

onde:

N	conjunto de nós
A	conjunto de arcos
Q	vazão dos arcos à montante (S+) e à jusante (S-)
R · N	conjunto dos nós com reservatório
$S^+(i), S^-(i)$	conjunto de arcos que chegam / partem para/de nó i
V_i^0, V_i^f	volume inicial / final do nó i
I _i	volume afluente incremental ao nó i
U _i	uso consuntivo no nó i
$E(V_i)$	volume evaporado no nó i

O volume evaporado é calculado pela seguinte aproximação (linear):

$$E(V_i) = T_i \cdot (A_i(v) = a_i V_{med_i} + b_i), \text{ onde}$$

V_{med_i} é o volume médio no mês, calculado como a média aritmética dos volumes do início e fim da etapa e T_i corresponde ao coeficiente de evaporação mensal do reservatório [mm/mês].

Os parâmetros a e b são determinados a partir dos polinômios cota x volume e cota x área, que relacionam os volumes mínimos e máximos com as áreas mínimas e máximas de cada reservatório através das seguintes equações:

$$a_i = \frac{Area_{max_i} - Area_{min_i}}{Vol_{max_i} - Vol_{min_i}}$$

$$b_i = Area_{min_i} - a_i Vol_{min_i}$$

A aproximação linear é necessária porque o modelo matemático utiliza um pacote comercial de programação linear-inteira, o que inviabiliza o uso de expressões não-lineares. Foram realizados testes onde se comparou esta aproximação com o cálculo baseado no uso dos polinômios, com resultados muito próximos.

B Balanço hídrico para nós sem reservatórios

No caso do nó não conter um reservatório, os termos relativos ao volume útil inicial/final não existem, e a expressão (1) se reduz a:

$$\sum_{k \in S^-(i)} Q_{k,t} - \sum_{k \in S^+(i)} Q_{k,t} = I_{i,t} - \widetilde{E}_{i,t} - U_{i,t} \quad i \in F, t \in T \quad (1b)$$

onde :

$F \subset N$	conjunto dos nós sem reservatório
$E_{i,t}$	volume evaporado no mês t (constante)
Q	vazão dos arcos à montante (S^+) e à jusante (S^-)

C Volume útil máximo

Estas restrições são autoexplicativas:

$$V_{i,t} \leq \overline{V}_{i,t} \quad i \in R \quad (2)$$

2.2 Enchimento / esvaziamento dos reservatórios

As regras de operação para o Rio Paraíba do Sul estabelecerão prioridades para o enchimento / esvaziamentos dos reservatórios de cabeceira (como os existentes nos rios Paraíba, Santa Branca, Jaguari e Funil). Definem-se curvas limites $C(i,m)$, $m=1..M(i)$, como frações do volume útil, sendo que necessariamente $C(i,1) = 0\%$ e $C(i,M(i)) = 100\%$.

Por exemplo:

As faixas operativas são os intervalos $[C(i,m), C(i,m+1)]$, para $m=1.. M(i)-1$. Ao início da etapa, determina-se a faixa operativa corrente $F(i)$ de cada reservatório i como sendo:

$$F(i) = \text{Max}_{k=1,2,\dots,M(i)-1} \{ V_{i,t} \leq \overline{V}_{i,t} > C(i,k) \}$$

Observe que os valores $F(i)$ são dados de entrada para o modelo (para a primeira etapa), dado que os volumes úteis iniciais são conhecidos.

A prioridade de enchimento será em ordem crescente de $F(i)$. Ou seja, reservatórios mais vazios serão os primeiros a armazenar água. A prioridade de esvaziamento será em ordem decrescente de $F(i)$. Ou seja, reservatórios mais cheios serão os primeiros a esvaziar.

No caso dos reservatórios estarem na mesma faixa operativa, existe uma tabela (dado de entrada) que estabelece as prioridades de enchimento/esvaziamento de desempate.

A partir destas regras, são criados dois vetores auxiliares v_1, v_2 com prioridades respectivamente de enchimento / esvaziamento. Supondo os seguintes índices {1=Paraíba, 2=Santa Branca, 3=Jaguari e 4=Funil}, o vetor $v_1 = (1,2,3,4)$, por exemplo, estabelece que a ordem de armazenamento é 1-2-3-4. O vetor $v_2 = (4,3,2,1)$, por exemplo, estabelece que a ordem de esvaziamento é 4-3-2-1

Variáveis de decisão binárias são incluídas na formulação de maneira a permitir a ocorrência de armazenamento / esvaziamento dos reservatórios. Estas variáveis são:

A Enchimento

$x_{i,t}^a = 1$, se o reservatório i está armazenando água (enchendo)

$x_{i,t}^a = 0$, caso contrário

O enchimento ocorre, quando $V_{i,t+1} - V_{i,t} > 0$. Portanto, podemos escrever:

$$V_{i,t+1} - V_{i,t} < Gx_{i,t}^a \quad i \in R, t \in T \quad (3a)$$

onde G é um número grande. Observa-se, como desejado, que o enchimento do reservatório i só será possível se $x_{i,t}^a = 1$.

B Deplecionamento

$x_{i,t}^e = 1$, se o reservatório i está deplecionando (esvaziando)

$x_{i,t}^e = 0$, caso contrário

O esvaziamento ocorre, quando $V_{i,t+1} - V_{i,t} < 0$. Portanto, podemos escrever:

$$V_{i,t+1} - V_{i,t} > Gx_{i,t}^e \quad i \in R, t \in T \quad (3b)$$

onde G é um número grande. Observa-se, como desejado, que o esvaziamento do reservatório i só será possível se $x_{i,t}^e = 1$.

Finalmente, a prioridade de enchimento e de esvaziamento dos reservatórios pode ser introduzida no modelo através das seguintes desigualdades de precedência:

$$x_{v1(4),t}^a \leq x_{v1(3),t}^a \leq x_{v1(2),t}^a \leq x_{v1(1),t}^a \quad i \in R, t \in T \quad (3c)$$

$$x_{v2(4),t}^e \leq x_{v2(3),t}^e \leq x_{v2(2),t}^e \leq x_{v2(1),t}^e \quad i \in R, t \in T \quad (3d)$$

C Volumes regularizados mínimos e máximos

Cada arco conecta dois nós do sistema. O fluxo volumétrico de cada arco pode ser limitado inferiormente ou superiormente, por exemplo, para atender restrições de segurança, defluências mínimas para controle de poluição, ou para atender restrições de consumo de água.

Como, fisicamente, não se pode garantir o atendimento destas restrições, são definidas *variáveis de folga* ΔQ_k^+ e ΔQ_k^- , que medem quanto estas restrições estão sendo violadas. As variáveis de folga são penalizadas na função objetivo do problema. O custo unitário das penalizações é definido de maneira a respeitar a prioridade pelo uso da água, quando diferentes restrições são conflitantes, isto é, não podem ser respeitadas *conjuntamente*.

De maneira equivalente as violações para vazão máxima e mínima, existem variáveis de folga ΔAle_k^- e ΔEsp_k^+ medem o quanto as restrições associadas aos volumes de espera e de mínimo operativo estão sendo violadas, e são penalizadas da mesma forma que as anteriores na função objetivo.

D Fluxo volumétrico máximo

$$Q_{k,t} - \Delta_{k,t}^+ \leq \overline{Q}_k \quad k \in A, t \in T \quad (4a)$$

Para os arcos de produção, o valor do engolimento máximo será automaticamente calculado como a razão entre a potência instalada da usina e seu fator de produção.

E Fluxo volumétrico mínimo

$$Q_{k,t} - \Delta_{k,t}^- \leq \underline{Q}_k \quad k \in A, t \in T \quad (4b)$$

Para o caso de Santa Cecília, existem dois valores para fluxos volumétricos mínimos: um associado ao bombeamento e outro à descarga mínima a jusante para o do Rio Paraíba do Sul. Estes valores, ao contrário dos valores dos demais arcos, não são constantes. A razão é que as metas de vazões mínimas em Santa Cecília dependem do volume armazenado do reservatório equivalente.

Desta maneira, o modelo de simulação verifica em cada instante de tempo qual o estado de armazenamento do reservatório equivalente para se checar quais vazões mínimas operativas em Santa Cecília devem ser utilizadas.

Seja $Y_{k,t}$ uma variável binária definida como:

$$Y_{k,t} = 1 \quad \text{armazenamento do reservatório equivalente (faixa de operação } k \text{ e } k-1)$$

$$Y_{k,t} = 0 \quad \text{caso contrário.}$$

Na formulação matemática do modelo, as seguintes desigualdades são escritas para cada instante de tempo t :

$$\sum_{k=1}^{NCL+1} Vcl_{k,t} = VEq_t \quad t \in T \quad (4c.1)$$

$$Y_{k-1,t} \times CL_{(k-1,t)} \leq Vcl_{k-1,t} \leq CL_{k,t} \times Y_{k-1,t}, t \in T, k \in 2..NCL+2 \quad (4c.2)$$

$$\sum_{k=1}^{NCL+1} Vcl_{k,t} = 1 \quad t \in T \quad (4c.3)$$

onde

$$CL(1) = 0 \text{ e } CL(NCL+2) = 1$$

O modelo utilizará as vazões mínimas da seguinte maneira: caso o volume do reservatório equivalente esteja entre as curvas limite k e $k-1$, ele utilizará as vazões estipuladas para a curva limite k . Logo, o número de faixas de operação será sempre uma unidade maior que o número de curvas limite utilizadas, e para cada faixa de operação será necessário estipular as vazões mínimas de bombeamento e de descarga para o Paraíba do Sul. Por exemplo, utilizando três curvas limite, o número de faixas de operação é igual a quatro.

As vazões mínimas nos arcos que saem de Santa Cecília são descritas a seguir:

- Arco de bombeamento

$$Q_{bomb,t} - \Delta_{bomb,t}^- \geq \sum_{k=1}^{NF} Y_{k,t} - \underline{Q}_{bomb,k} \quad t \in T, k \in NF \quad (4d.1)$$

onde $Q_{bomb,k}$ é o bombeamento da faixa de operação entre as curvas limite k e $k-1$.

- Arco de descarga mínima a jusante de S.Cecília

$$Q_{desc,t} - \Delta_{desc,t}^- \geq \sum_{k-1}^{NF} Y_{k,t} - Q_{desc,k} \quad t \in T, k \in NF \quad (4d.2)$$

onde $Q_{desc,k}$ é a descarga da faixa de operação entre as curvas limite k e $k-1$.

F Volume mínimo operativo

$$V_{k,t} + \Delta Ale_{k,t}^- \geq VAle_{k,t} \quad k \in N, t \in T \quad (4e)$$

onde $VAle$ é o volume de mínimo operativo (restrições operativas para o volume mínimo do reservatório, em hm^3).

G Volume de espera

$$V_{k,t} + \Delta Esp_{k,t}^+ \geq \overline{VEsp}_{k,t} \quad k \in N, t \in T \quad (4f)$$

onde $\overline{VEsp}_{k,t}$ é o volume de espera para amortecimento de cheias do reservatório, em hm^3 .

2.3 Produção e consumo de energia

Para alguns casos, é possível calcular a produção / consumo de energia, multiplicando-se a produtibilidade ρ (MWh/hm^3) pelo fluxo volumétrico de água no arco (hm^3).

O fator de produção constante de uma usina representa uma altura de queda constante (queda de referência) para o cálculo da produção energética. Esta aproximação será boa se a variação da cota do reservatório for pequena quando comparada à diferença entre a cota do reservatório e a cota da unidade geradora. Felizmente este é o caso das unidades geradoras da Light. Adicionalmente, o modelo matemático emprega um pacote comercial de programação linear-inteira, o que inviabiliza o uso de expressões não-lineares.

O modelo trata a produção de energia como um benefício na função objetivo, descontando das “Penalidades totais” uma parcela devido à energia produzida. As equações que regem a produção de energia do modelo são as seguintes:

$$\rho_i \cdot Q_{i,t} \leq P_i \quad i \in G, t \in T \quad (5a)$$

onde:

$G \subset N$	conjunto dos nós com geração
P_i	capacidade máxima instalada (MW)
Q_i	vazão dos arcos de turbinamento (m^3/s)
ρ_i	fator de produção constante da usina ($MW/m^3/s$)

Para o caso de usinas de bombeio, o valor ρ_i é negativo, refletindo um consumo de energia. Neste caso, a equação (4) é reescrita como:

$$\rho_i \cdot Q_{i,t} \geq -P_i \quad i \in G, t \in T \quad (5b)$$

Após a otimização, o modelo recalcula a produção de energia para a mesma quantidade de água turbinada, somente refinando o fator de produção utilizado, que será calculado através do polinômio cota x volume e da curva chave do canal de fuga. A expressão final para a energia produzida é:

$$\text{Produção [MW]} = QDec * Kesp * HLiq \quad (5c)$$

Onde:

$QDec$ é a vazão do arco de produção correspondente (m^3/s)

$Kesp$ é a produtibilidade específica ($MW/m^3/s/m$);

$HLiq$ é a altura de queda líquida calculada como:

$$HLiq = h_1(V) - h_2(QDec) - h_{perdas} \quad (5d)$$

Onde:

$h_1(V)$ é a altura calculada através da integração do polinômio cota x volume do reservatório, utilizando como limites da integral os volumes da etapa $t + 1$ e t .

$h_2(QDec)$ é a altura calculada através da curva chave do canal de fuga

h_{perdas} é a altura equivalente das perdas hidráulicas (metro ou % da altura de queda)

2.4 Vertimento de superfície e de fundo

Os reservatórios possuem dois tipos de vertimento:

- Vertimento de superfície

A usina pode verter desde que seu volume seja superior ao volume na soleira do vertedor (dado de entrada em hm^3).

Seja $Y(a,t)$ uma variável binária definida como:

$Y(a,t) = 1$ vertimento de superfície liberado

$Y(a,t) = 0$ não pode verter

Na formulação matemática do modelo, escrevem-se as seguintes desigualdades para cada instante de tempo t :

$$VSoleira(n) \times Y(a,t) - V(n,t) \leq 0 \quad (6a)$$

$$QVSup(a,t) - Y(a,t) \times G \leq 0 \quad (6b)$$

onde G é um número grande e a representa o arco de vertimento. Observa-se, como desejado, que o vertimento de superfície do reservatório n só será possível se $Y(a,t) = 1$.

- Vertimento de fundo

A usina pode verter estando com qualquer volume até um limite estipulado pelo usuário (em m³/s).

Na formulação matemática do modelo, escreve-se a seguinte desigualdade para cada instante de tempo t :

$$QVFun(a, t) + QTurb(k, t) \leq Limite(n) \quad (6c)$$

onde a representa o arco de vertimento, k representa o arco de turbinamento e n o reservatório.

2.5 Manutenção

É possível definir os dados de manutenção para as usinas, assim como a taxa equivalente de indisponibilidade força (TEIF) e programada (TEIP).

A TEIF será sempre considerada, já a TEIP só será considerada caso não exista registros de manutenção para a usina em questão.

Quando houver cronograma de manutenção da usina, sua capacidade instalada será diminuída do seguinte fator:

$$\left(1 - \frac{TEIF(n)}{100}\right) \times \left(1 - \frac{Manut(n,m)}{100}\right) \times Pot(n) \quad (7)$$

Onde $Manut(n, m)$ é um fator equivalente de manutenção da usina n no mês m , em função dos cronogramas, que são registros contendo datas de início e fim de cada manutenção e MW não disponibilizados pela manutenção.

Caso contrário, a TEIP será considerada:

$$\left(1 - \frac{TEIF(n)}{100}\right) \times \left(1 - \frac{TEIP(n,m)}{100}\right) \times Pot(n) \quad (8)$$

onde n representa a usina, e m o mês da manutenção.

2.6 Função objetivo

A função objetivo minimiza a soma das penalizações decorrentes das violações dos fluxos volumétricos mínimos e máximos nos arcos da rede, e das penalizações decorrentes das violações dos volumes de mínimo operativo e de espera dos reservatórios.

$$Z = Min \sum_t \left(\sum_k (c_k^+ \Delta_{k,t}^{2+} + c_k^- \Delta_{k,t}^{2-}) + \sum_j (c_j^+ \Delta Esp_{j,t}^{2+} + c_j^- \Delta Ale_{j,t}^{2-}) - p_1 \sum_j (V_{j,t}) - p_2 \sum_i (p_i Q_{i,t}) \right)$$

Onde

k = índice de arcos

t = índice de tempo

c_k^+ , c_k^- , c_j^- , c_j^- = penalizações associadas aos arcos (sub-índice k) e nós (sub-índice j)

j = índice de nós com reservatórios

i = índice de nós de geração

p_1 = benefício associado ao armazenamento de água nos reservatórios do sistema (unidades/hm³)

p_2 = benefício associado à produção de energia. Para as unidades de bombeamento, o benefício é um “custo” associado ao consumo de energia.

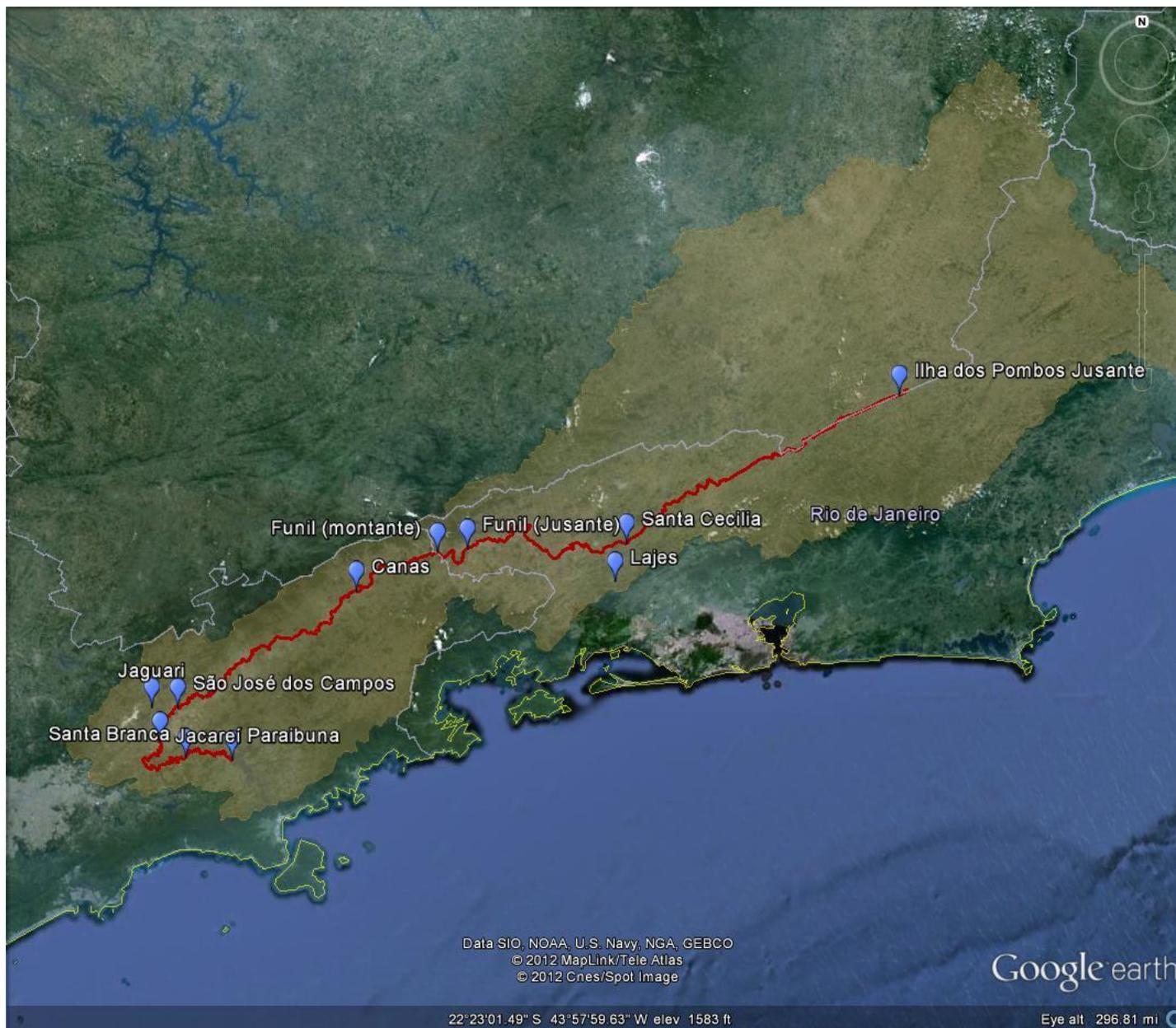
A formulação (1)-(9) caracteriza um problema de programação matemática quadrático-inteiro, resolvido por um modelo comercial chamado Xpress (Dash Optimization). Será bastante oportuna a utilização desta ferramenta no presente estudo.

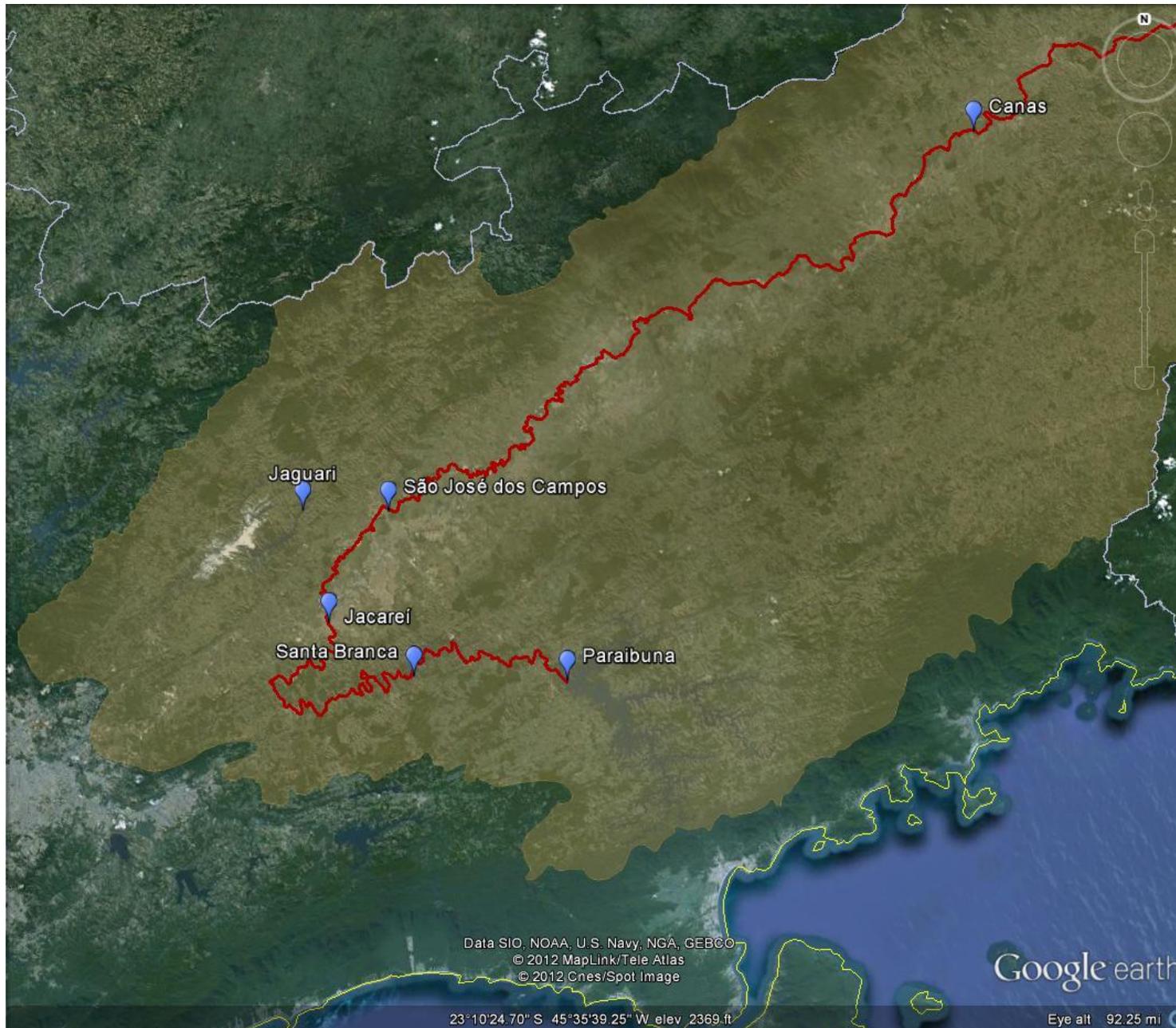
3 DADOS UTILIZADOS

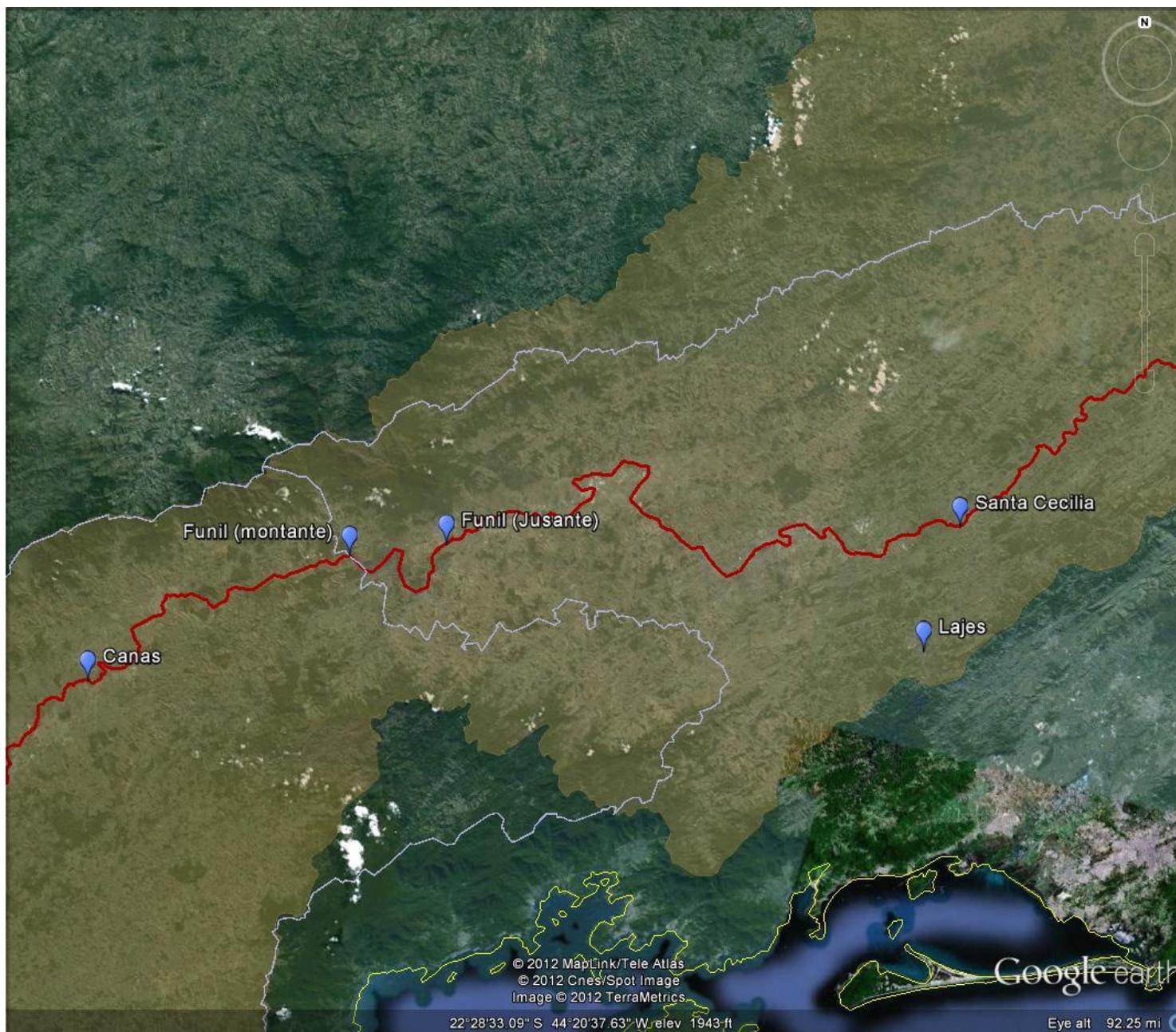
Com base nos dados hidrológicos das estações selecionadas escolheram-se os períodos mais críticos de vazões históricas mínimas.

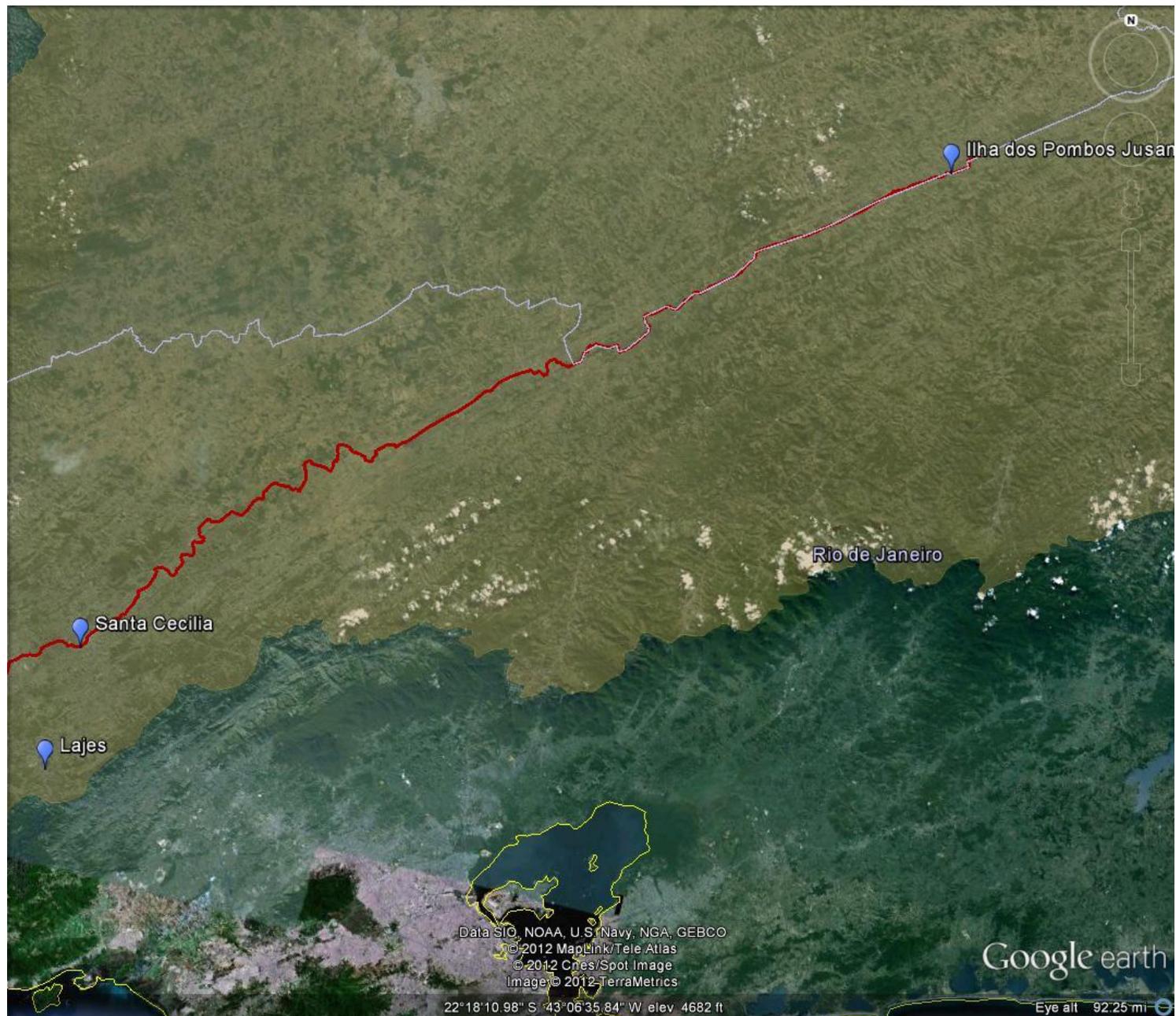
- 1952-1953;
- 1953-1954;
- 1954-1955;
- 1955-1956;
- 1962-1963;
- 1963-1964;
- 1970-1971;
- 1983-1984;
- 1989-1990; e
- 2000-2001.

Com os resultados do modelo PARSUL, foram definidas as vazões operadas pelo conjunto de reservatórios e captações para que se fosse possível avaliar as condições de circulação de água nos pontos mais críticos, levantados pelas referências e do monitoramento da qualidade da água nos diversos trechos do rio. Sendo assim, definiu-se como áreas críticas, o trecho que compreende o município de Paraibuna até o município de Além Paraíba, conforme mostram as figuras a seguir.









4 RESULTADOS

Com as séries hidrológicas definidas e as regras de restrição estabelecidas para os diversos reservatórios e transposições existentes e previstas, foram elaboradas as curvas de permanência para a vazão defluente de cada um dos postos dos trechos mais críticos. Foram avaliados os cenários de transposições e as demandas de água para os horizontes de planejamento, 2010 (atual), 2025 e 2035. Val ressaltar que a vazão defluente representa a vazão liberada à jusante do ponto analisado. A seleção dos trechos apresentados a seguir teve por base os seguintes critérios:

- Discussão com equipe técnica da AGEVAP a partir dos resultados preliminares dos estudos;
- Avaliação da qualidade da água
- Avaliação da disponibilidade hídrica
- Avaliação das demandas de usos consuntivos
- Avaliação dos projetos de transposição.

Apresenta-se a seguir os resultados das simulações para os trechos considerados críticos:

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

Ainda nesse sentido, foi informado pela equipe técnica da AGEVAP que existe outorga de uso da água disponibilizada para o Complexo do Porto do Açú, no trecho de baixada do Paraíba do Sul, próximo à cidade de Campos, onde existe a emissão de duas outorgas preventivas, a saber:

- 1) Resolução ANA 3/2011: $Q_{\text{médio}} = 1,11 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{\text{máx}} = 1,11 \text{ m}^3/\text{s}$
- 2) Resolução ANA 6/2011: $Q_{\text{médio}} = 8,33 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{\text{máx}} = 16,66 \text{ m}^3/\text{s}$

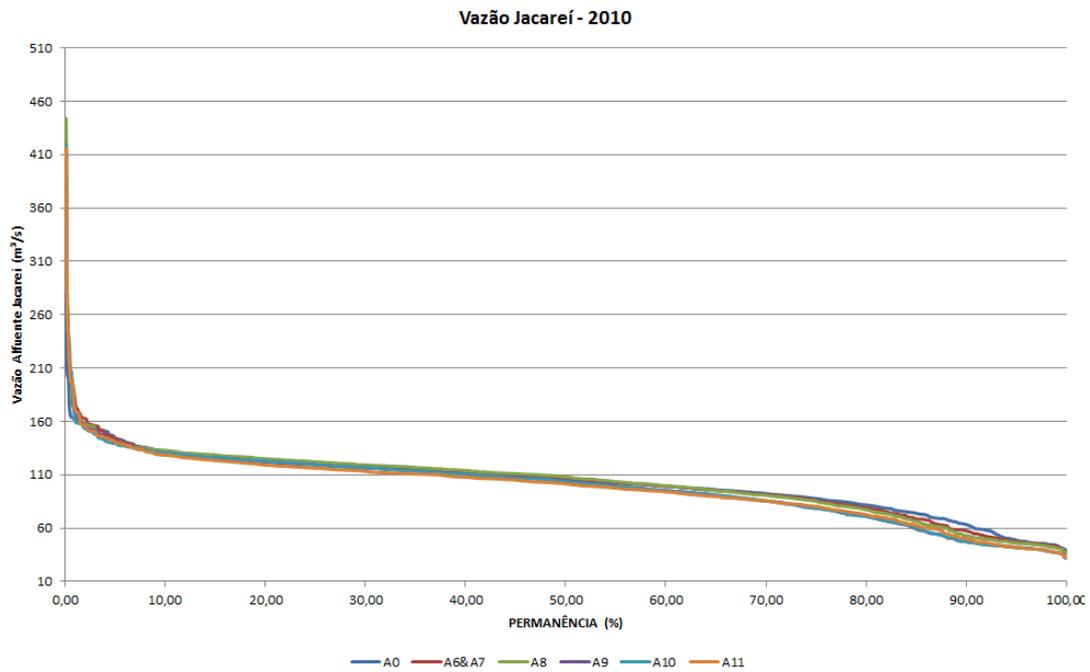
Os resultados das simulações permitiu a elaboração das curvas de permanência de vazões comparativas, ou seja, contemplando cada arranjo proposto, além da projeção por cenário, ou seja, com os dados atuais (2010) e futuros (2025 e 2035). A seguir, apresenta-se a descrição das alternativas conforme apresentação em gráfico:

Alternativa	Vazão de Captação no Paraíba do Sul (m^3/s)	
	Jaguari-Atibainha	Guararema-Birítiba
Alternativa 0	Sem retirada	
Alternativa 6	5,00	
Alternativa 7	5,00	
Alternativa 8	11,00	
Alternativa 9	10,00	4,00
Alternativa 10	11,50	4,00
Alternativa 11	5,00	5,00

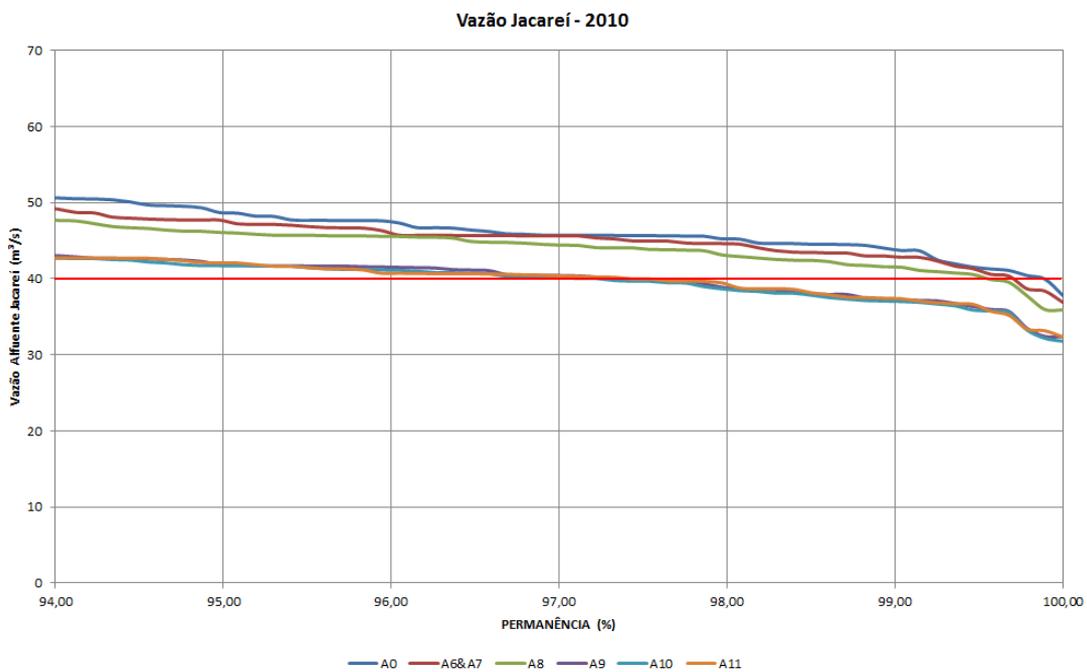
Tabela 4: Vazão de Captação no rio Paraíba do Sul para transposição à Macrometrópole de São Paulo

4.1 Trecho paulista junto ao município de Jacareí

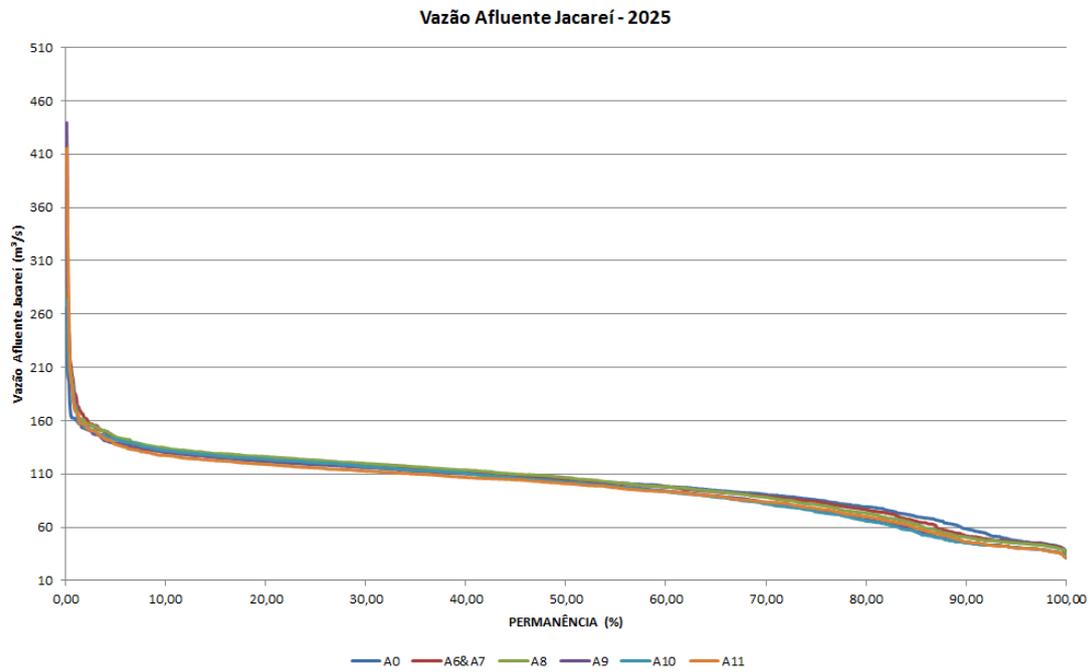
A Curvas de permanência de vazões para o cenário atual de demandas



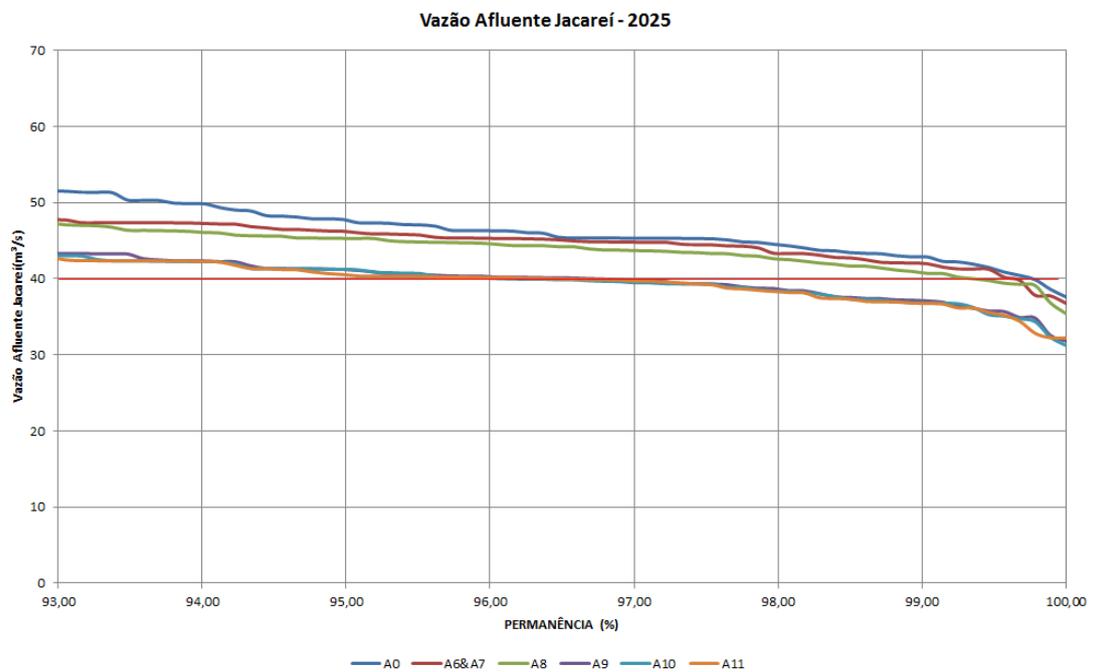
B Curva de permanência de vazões para o cenário atual com destaque para as vazões mínimas



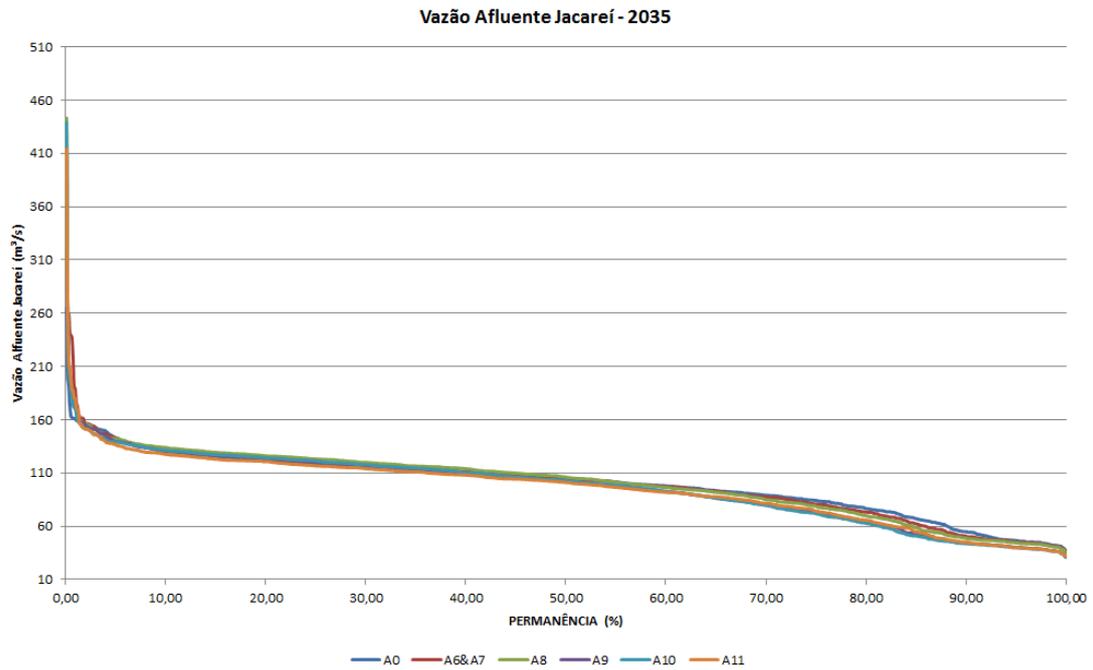
C Curva de permanência para o cenário de 2025



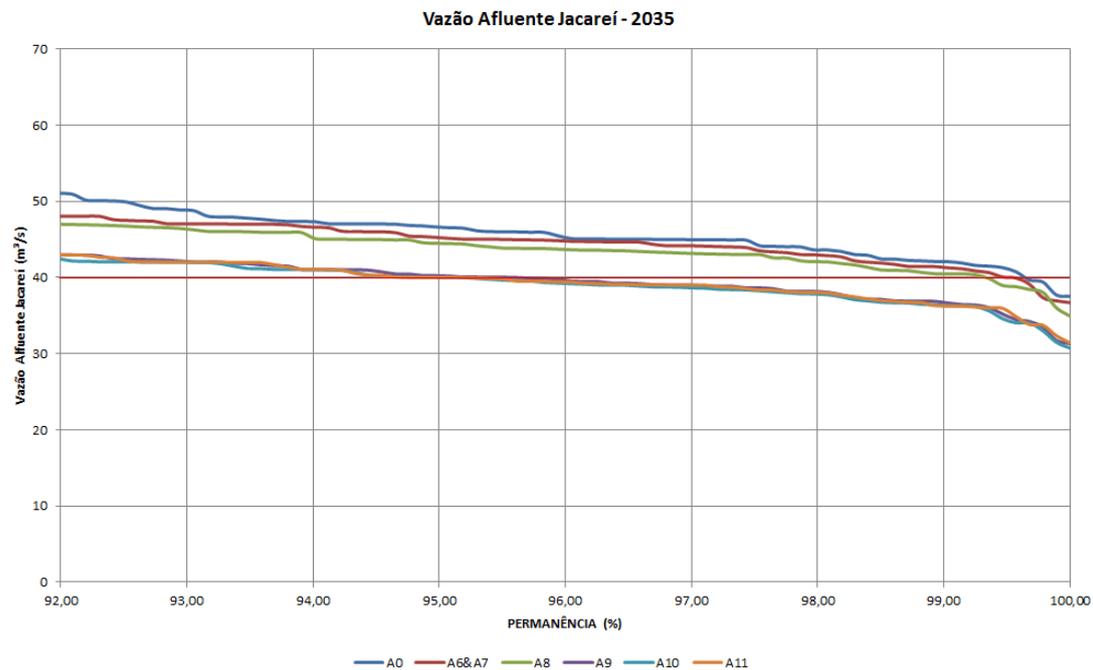
D Curva de permanência de vazões para o cenário 2025 com destaque para as vazões mínimas



E Curva de permanência para o cenário de 2035



F Curva de permanência de vazões para o cenário 2035 com destaque para as vazões mínimas



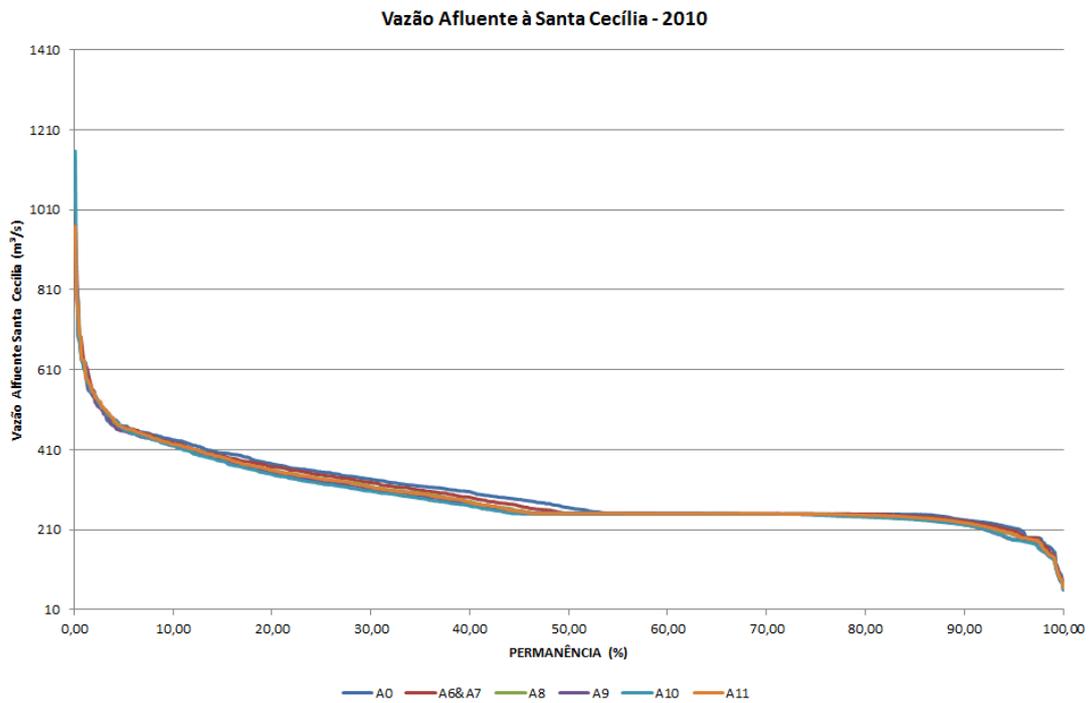
G Síntese

Permanência (%)	A0			A6 e A7			A8		
	2010	2025	2035	2010	2025	2035	2010	2025	2035
90	61,16	56,50	52,55	57,62	51,89	50,98	52,96	50,98	48,97
91	56,91	53,92	50,35	54,72	50,96	49,33	50,72	49,30	47,72
92	55,53	52,11	48,55	52,46	49,32	48,05	49,68	47,35	46,98
93	51,91	49,12	46,33	50,74	47,75	47,04	48,44	47,26	46,43
94	48,08	47,30	44,69	49,13	47,25	46,59	47,66	46,07	45,08
95	46,10	45,18	43,94	47,70	46,22	45,26	46,08	45,29	44,47
96	44,75	43,72	42,43	45,71	45,28	44,75	45,54	44,51	43,64
97	43,04	42,64	42,21	45,64	44,79	44,16	44,40	43,69	43,15
98	42,64	41,92	40,92	44,61	43,33	42,98	43,12	42,62	42,07
99	41,10	40,26	39,37	42,82	41,96	41,26	41,50	40,70	40,47
100	35,12	34,94	34,75	36,89	36,78	36,70	35,89	35,42	34,94

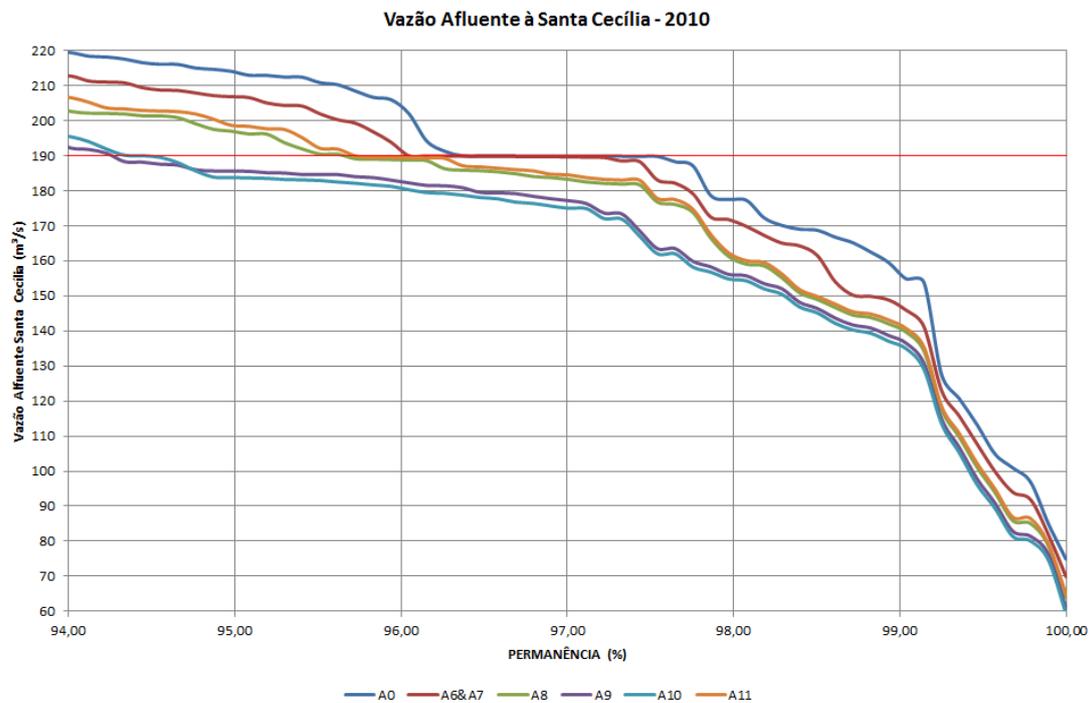
Permanência (%)	A9			A10			A11		
	2010	2025	2035	2010	2025	2035	2010	2025	2035
90	47,48	46,34	44,01	45,12	42,86	42,77	50,44	46,32	45,03
91	46,26	44,76	43,27	43,40	41,77	41,68	47,25	45,35	43,54
92	44,81	43,73	42,97	42,12	40,76	40,67	46,52	43,85	42,94
93	43,71	43,31	42,16	41,08	40,44	40,35	44,70	42,77	42,02
94	43,02	42,31	41,05	40,09	39,64	39,54	42,72	42,28	41,04
95	41,87	41,22	40,23	39,11	38,64	38,54	42,08	40,54	40,00
96	41,49	40,21	39,53	38,54	37,46	37,36	40,72	40,15	39,41
97	40,41	39,72	38,98	37,54	36,86	36,77	40,36	39,67	39,01
98	38,88	38,71	38,17	36,03	35,74	35,64	39,45	38,32	38,02
99	37,23	37,08	36,64	34,36	34,14	34,05	37,37	36,72	36,25
100	32,38	31,81	31,32	29,17	28,62	28,52	32,34	32,22	31,41

4.2 Trecho junto à captação em Santa Cecília

A Curvas de permanência de vazões para o cenário atual de demandas

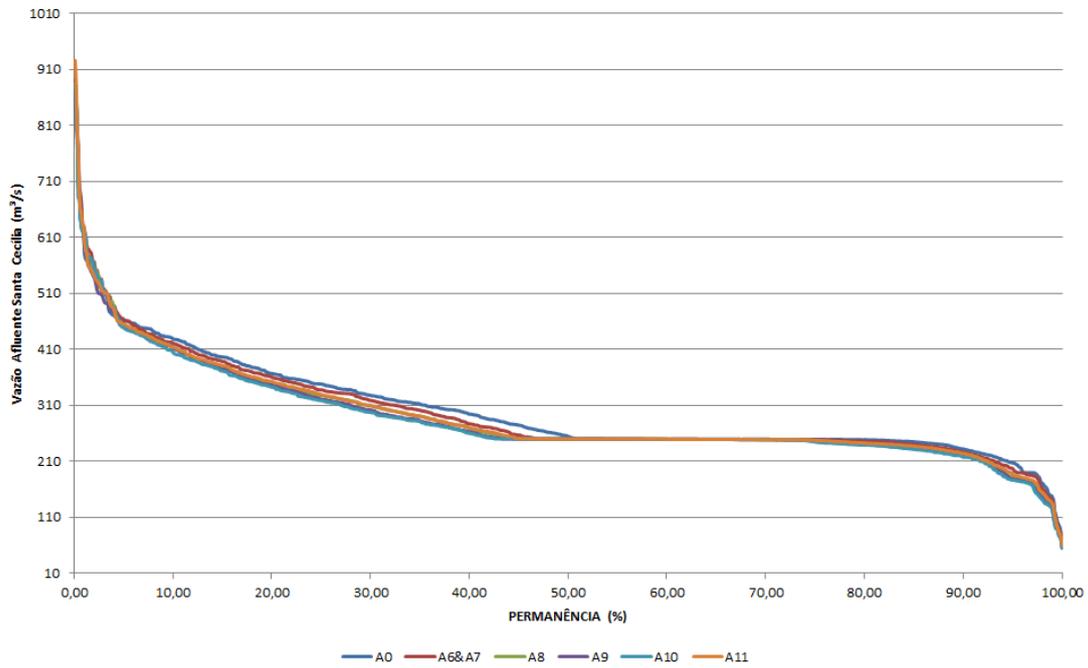


B Curva de permanência de vazões para o cenário atual com destaque para as vazões mínimas



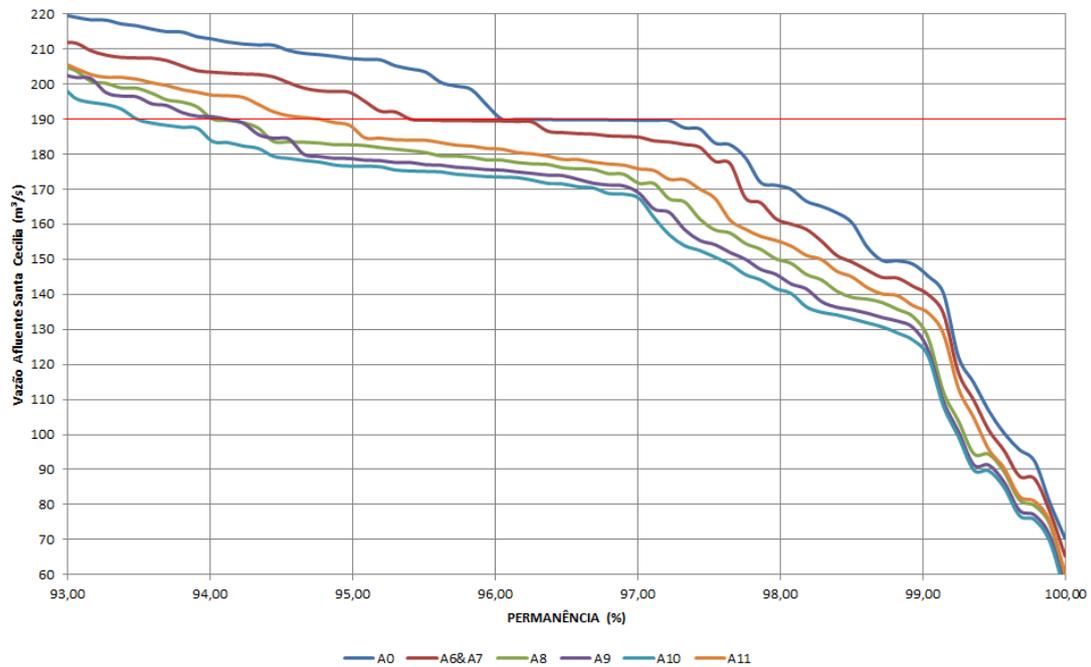
C Curva de permanência para o cenário de 2025

Vazão Afluente à Santa Cecília - 2025

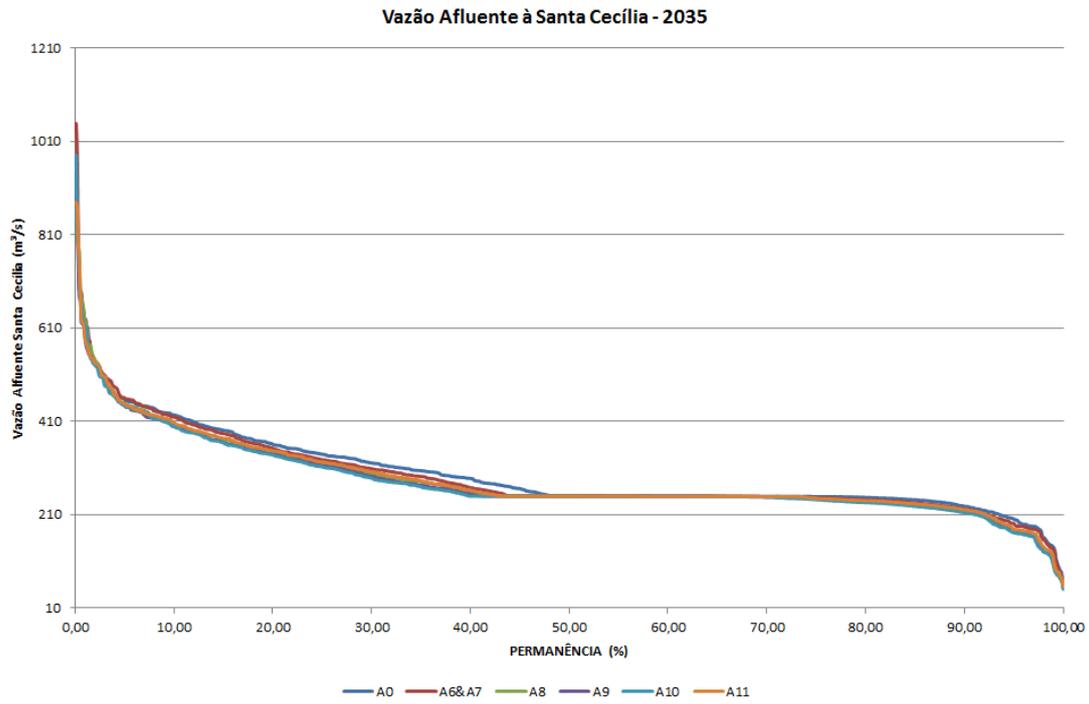


D Curva de permanência de vazões para o cenário 2025 com destaque para as vazões mínimas

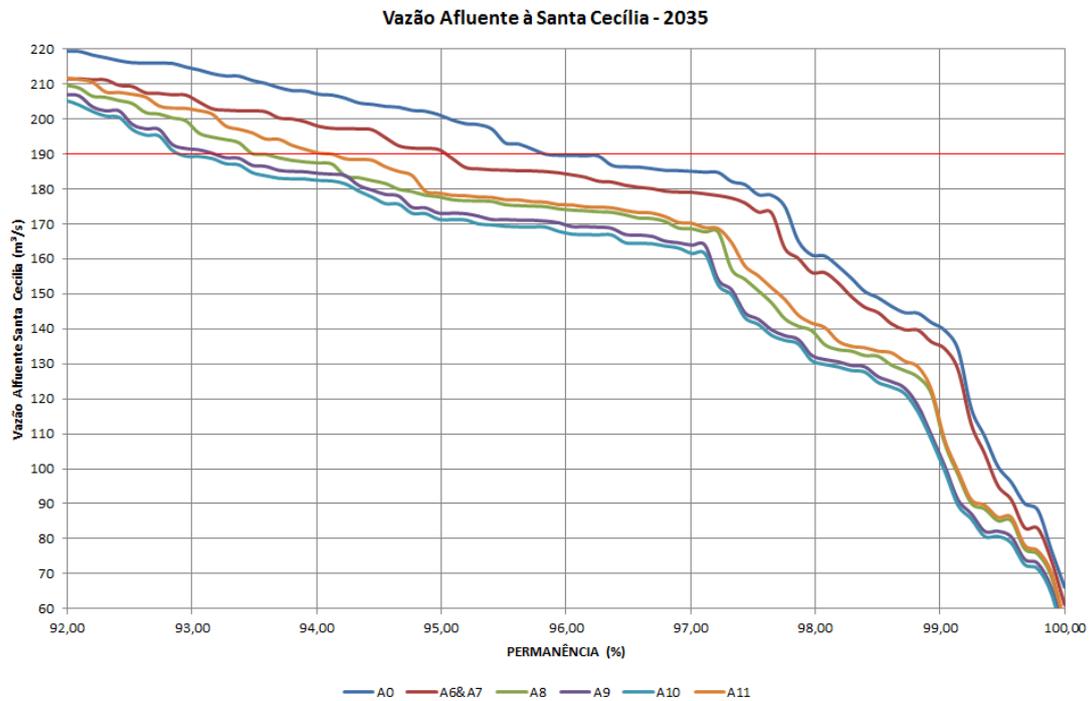
Vazão Afluente à Santa Cecília - 2025



E Curva de permanência para o cenário de 2035



F Curva de permanência de vazões para o cenário 2035 com destaque para as vazões mínimas



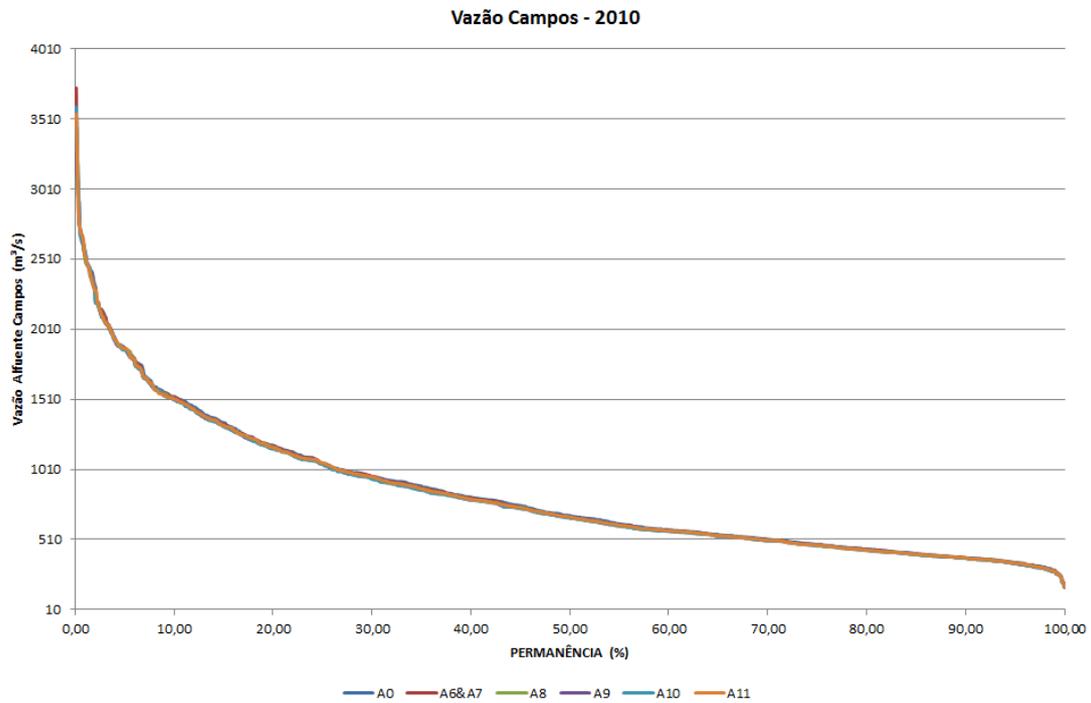
G Síntese

Permanência (%)	A0			A6 e A7			A8		
	2010	2025	2035	2010	2025	2035	2010	2025	2035
90	232,00	229,74	225,45	231,93	227,06	222,17	226,40	223,49	217,87
91	228,54	225,23	220,80	227,77	221,90	218,40	221,38	219,46	214,30
92	226,24	221,21	216,63	223,09	217,01	211,56	216,21	213,56	209,60
93	222,72	217,33	212,16	219,58	211,68	206,83	210,93	205,15	199,48
94	216,83	210,25	204,41	212,69	203,36	197,87	202,59	189,97	187,40
95	211,52	204,74	198,56	206,81	197,62	191,24	197,01	182,65	177,75
96	199,47	187,43	186,91	189,96	189,43	184,02	188,71	178,28	173,93
97	187,23	187,02	182,29	189,64	184,84	179,03	183,23	171,65	168,62
98	175,02	168,67	158,61	171,78	161,56	156,16	161,27	150,12	139,53
99	152,41	142,75	137,05	145,92	139,94	134,33	139,64	127,64	107,31
100	72,50	67,98	63,70	69,89	65,37	61,17	63,88	59,37	55,17

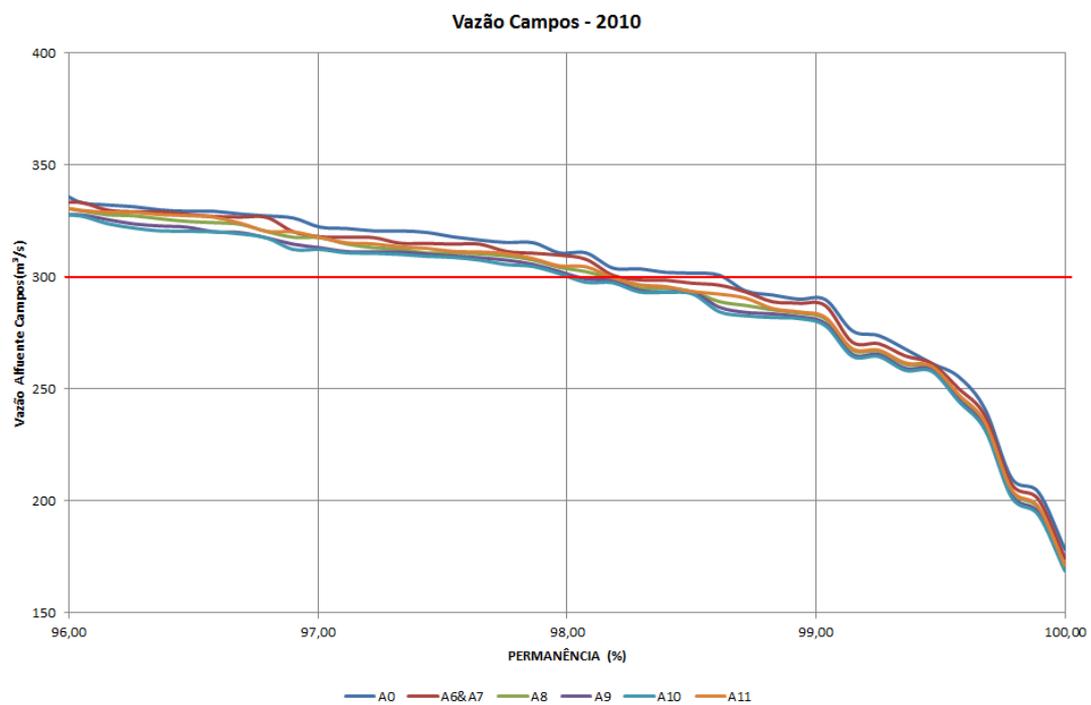
Permanência (%)	A9			A10			A11		
	2010	2025	2035	2010	2025	2035	2010	2025	2035
90	222,88	221,08	217,05	221,75	217,63	214,85	219,13	215,01	212,14
91	217,78	216,68	212,25	217,65	213,99	211,02	215,03	211,37	208,31
92	211,49	211,63	206,93	211,01	209,55	205,26	208,38	206,92	202,54
93	202,74	202,81	191,54	202,54	199,53	189,37	200,02	197,01	186,75
94	192,14	190,66	184,42	195,37	183,60	182,42	192,85	181,08	179,81
95	185,56	178,75	173,07	183,75	176,56	171,33	181,23	174,04	168,72
96	182,24	175,43	169,22	180,29	173,44	167,08	177,79	170,94	164,49
97	177,14	168,89	163,92	175,00	167,39	161,57	172,51	164,90	158,98
98	156,13	145,70	132,48	154,83	141,62	130,98	152,55	139,34	128,61
99	136,50	124,17	100,82	134,93	122,43	99,40	132,94	120,44	97,34
100	60,88	56,37	52,17	59,38	54,87	50,67	57,08	52,57	48,28

4.3 Trecho junto ao município de Campos

A Curvas de permanência de vazões para o cenário atual de demandas

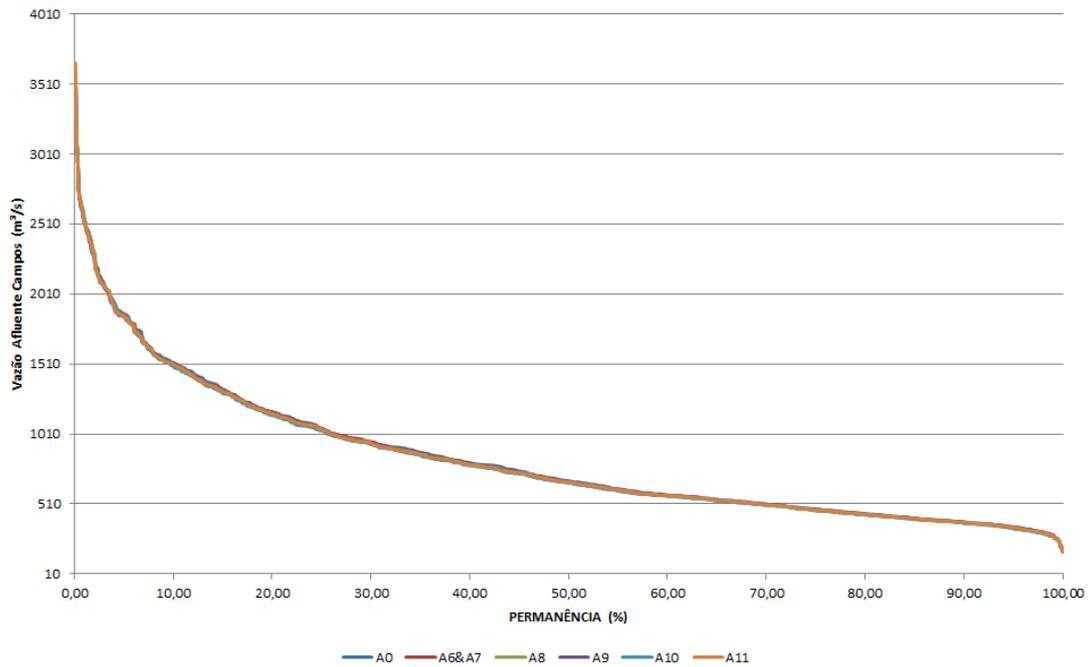


B Curva de permanência de vazões para o cenário atual com destaque para as vazões mínimas



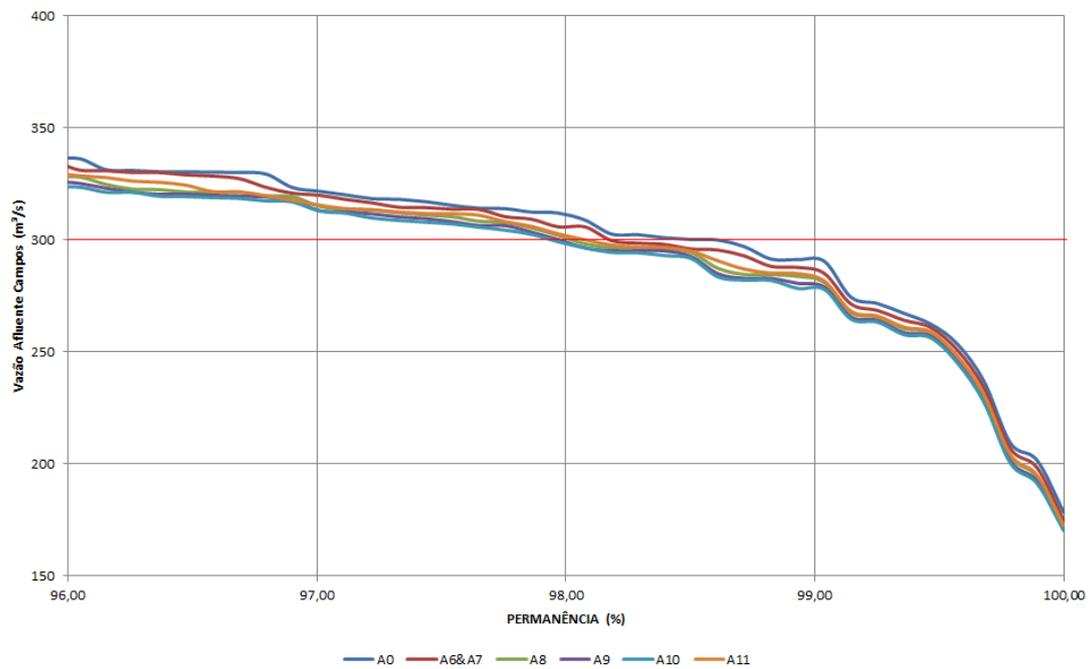
C Curva de permanência para o cenário de 2025

Vazão Afluente Campos - 2025

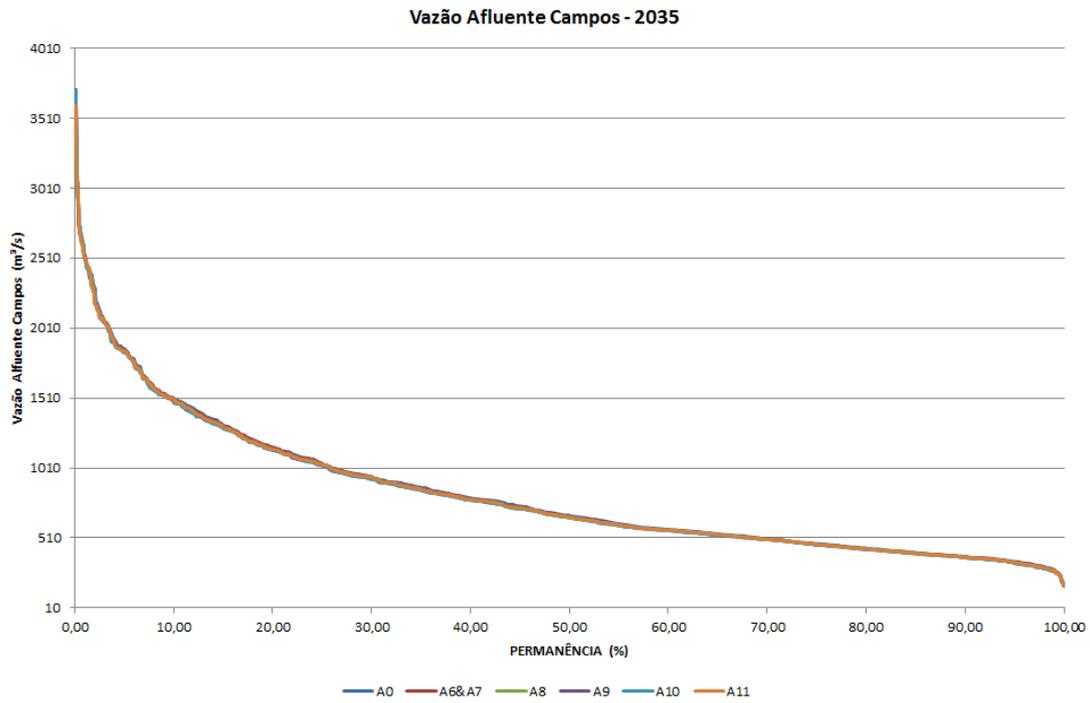


D Curva de permanência de vazões para o cenário 2025 com destaque para as vazões mínimas

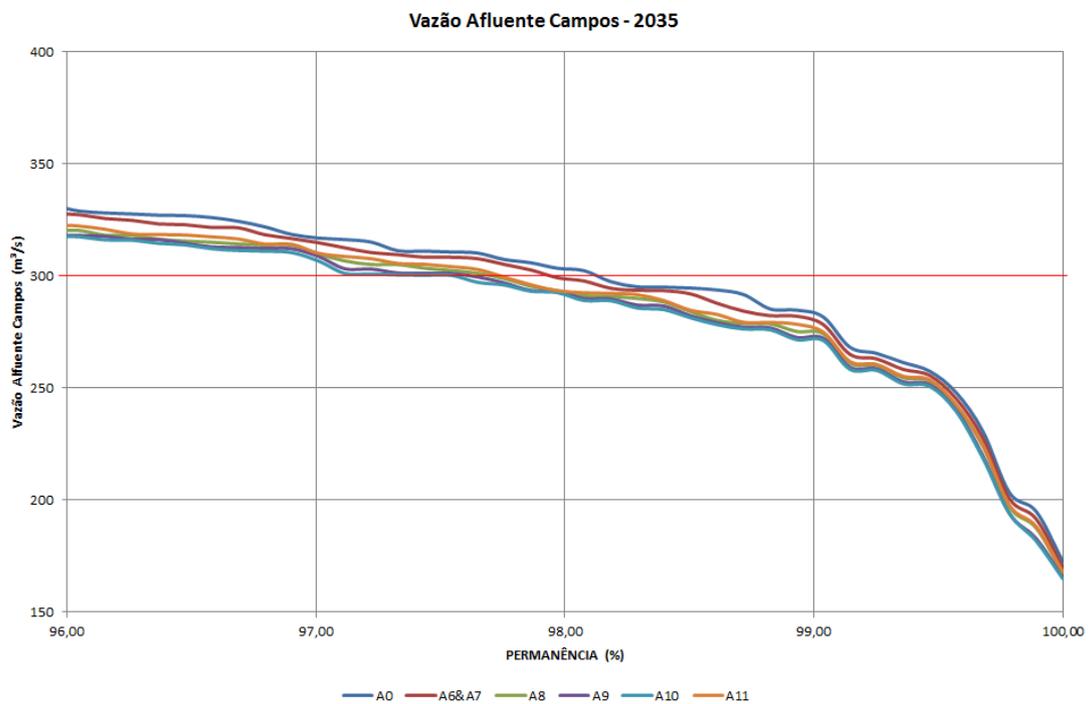
Vazão Afluente Campos - 2025



E Curva de permanência para o cenário de 2035



F Curva de permanência de vazões para o cenário 2035 com destaque para as vazões mínimas



G Síntese

Permanência (%)	A0			A6 e A7			A8		
	2010	2025	2035	2010	2025	2035	2010	2025	2035
90	377,27	379,23	375,47	376,49	377,81	373,80	379,20	377,65	371,64
91	371,90	370,65	365,67	369,16	368,76	364,21	369,97	369,78	365,70
92	366,18	367,65	362,95	365,57	365,71	361,49	366,66	365,40	361,17
93	362,53	361,94	358,69	359,12	358,58	354,42	358,92	358,66	354,79
94	352,59	352,56	348,52	350,73	349,13	345,15	349,80	349,91	346,64
95	343,26	344,28	337,59	341,80	340,36	335,89	339,63	341,26	331,57
96	330,60	333,52	326,19	330,60	328,46	324,57	329,55	328,04	320,31
97	319,56	319,04	314,14	315,26	317,23	312,08	317,51	315,04	309,85
98	308,11	309,30	300,70	307,10	303,18	296,50	304,29	302,00	293,34
99	287,20	287,80	278,94	284,49	282,39	275,57	281,20	280,95	274,22
100	175,76	175,91	170,03	171,85	172,34	167,49	170,62	171,99	167,50

Permanência (%)	A9			A10			A11		
	2010	2025	2035	2010	2025	2035	2010	2025	2035
90	376,91	373,75	370,57	373,75	371,04	367,76	379,76	379,15	371,69
91	368,41	369,52	364,20	365,71	366,28	360,29	370,70	369,78	366,13
92	365,34	365,02	359,60	361,58	361,64	355,81	367,41	366,18	362,09
93	357,43	358,35	352,98	353,22	354,75	349,38	358,95	358,98	355,75
94	348,87	349,79	346,43	345,66	345,98	341,94	350,82	350,28	347,10
95	339,53	341,45	329,91	336,25	332,56	326,36	340,91	341,79	338,22
96	327,70	325,21	318,08	324,58	320,88	314,74	329,76	328,58	322,30
97	313,05	313,10	308,80	309,58	310,26	304,00	317,57	315,53	310,15
98	302,39	300,10	293,24	298,81	296,51	289,86	304,94	302,64	293,41
99	279,18	278,93	272,19	275,53	275,28	268,45	281,88	281,63	274,90
100	169,26	170,86	165,70	166,06	167,65	162,29	171,12	172,45	167,88

5 CONCLUSÕES

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

Se considerarmos a existência de condições hidrológicas adversas, a vazão de restrição passa a ser 190 m³/s (119 m³/s para bombeamento de Santa Cecília e 71 m³/s defluente do rio Paraíba do Sul). Nesta situação, avaliando o cenário de 2010, no que consiste ao trecho junto à captação em Santa Cecília, percebe-se que a vazão de restrição é garantida em 96% do tempo para a situação atual (alternativa A0) e em 94% para o arranjo 10 (alternativa A10). Já no cenário de 2035 a vazão de restrição é garantida em 95% do tempo para a situação atual (alternativa A0) e em 92% para o arranjo 10 (alternativa A10).

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

Tabela 5: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m³/s) – Trecho junto à captação em Santa Cecília

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

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

Tabela 6: Diferenças de Vazão de acordo com as alternativas e cenários (m³/s) – Trecho junto ao município de Campos

Como pode ser visto na Tabela 6, o trecho junto ao município de Campos, a diferença quantitativa entre a situação atual (alternativa A0) e o Arranjo 10 (alternativa A10) é de 11 m³/s para o cenário de 2035 e uma permanência de 95%, o que decresce para a 7 m³/s para uma

permanência de 100% para o mesmo cenário. Cabe frisar que não foi analisado possível impacto a qualidade da água como o aumento da intrusão salina no rio Paraíba do Sul.

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

Entretanto, essas perdas energéticas representariam R\$ 20 milhões anuais de prejuízo para as geradoras com as usinas com potência maior que 30MW instaladas na bacia, sem levar em conta as perdas pelo acionamento de térmicas e as perdas nas PCHs de Queluz, Lavrinhas e da futura usina de Itaocara.

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

Tabela 7: Perda energética por transposição prevista

A Tabela 8 a seguir relaciona as vazões simuladas em comparação com as restrições estabelecidas para condições hidrológicas adversas. Pode-se notar um decréscimo importante para nas vazões mínimas (95% e 100%) considerando-se a retirada de vazões para atender a Macrometrópole de São Paulo, com valores menores do às restrições tanto para situação normal como para situação crítica.

Cenário	Alternativa	Vazão de restrição (m³/s)		Vazão de Permanência (m³/s)	
		Situação normal ¹ (Q _{sn})	Situação crítica ² (Q _{sc})	95%	100%
2010	A0	250	190	214,06	74,89
	A10	250	190	183,75	59,38
2025	A0	250	190	207,28	70,37
	A10	250	190	176,56	54,87
2035	A0	250	190	201,19	66,17
	A10	250	190	171,33	50,67

Tabela 8: Vazões de retirada simuladas e restrições de vazão estabelecidas em decreto.

A análise da Tabela 8 permite concluir que as alternativas para abastecimento de São Paulo não são estratégicas. No que consiste o atendimento ao decreto, há indícios que este não será cumprido em boa parte das situações simuladas, considerando a retirada de água em condições não adversas. Além disso, do ponto de vista de qualidade da água, mesmo que o estudo apresente os resultados de forma qualitativa, fica evidente a importância do volume de água necessário para garantir que os parâmetros físico-químicos e biológicos encontrem-se ade-

¹ Decreto no 68.324/71

² Decreto no. 81.436/78, condições hidrológicas adversas

quados para manutenção do corpo hídrico. Deve então ser adotada a estratégia de não se retirar água do rio em questão, tanto pelo trecho paulista como no trecho fluminense.

6 REFERÊNCIAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ENGEORPS, 2011. *Relatório de serviços de campo dos levantamentos topobatimétricos - rio Paraíba do Sul*.