

Recursos hídricos:
Entendendo o momento atual e refletindo sobre
a expansão da geração hídrica no Brasil

Jerson Kelman

ENASE 2015

27 maio 2015

1. Não-estacionariedade hidrológica
2. A crise hídrica na Região Metropolitana de SP
3. Reservatórios, inventários e concessões de bacias
4. Revisão de garantias físicas

1. Não-estacionariedade hidrológica

2. A crise hídrica na Região Metropolitana de SP

3. Reservatórios, inventários e concessões de bacias

4. Revisão de garantias físicas



É possível fazer prognósticos sobre o futuro observando o passado?

Todos sabem que as vazões afluentes às usinas hidroelétricas que foram observadas no passado não ocorrerão de forma idêntica no futuro. Mas, se o processo estocástico “utilizado” pela Natureza for estacionário, as estatísticas – por exemplo, as médias – do futuro serão próximas às do passado. A hipótese de estacionariedade é o pilar prin-

sive nas regiões onde haverá aumento da precipitação, devido ao aumento da evapotranspiração, por sua vez causada pelo aumento da temperatura. Segundo o estudo, a vazão média para o período de 2011 a 2040, quando comparada ao período de 1961 a 1990, diminuirá cerca de 20% na bacia do rio Paraná e de 30% na bacia do rio São

ção das curvas cota x área x volume e cota x m^3/s x MW dos principais reservatórios e usinas do SIN.

Segundo, não basta considerar as previsões de mudança climática nos cenários futuros de afluência às usinas. É preciso considerar também os efeitos da mudança de uso do solo (não incluída no estudo da FBDS). que, de acor-

| Usina | 1931-1992 | 1993-2012 | Δ |
|--------------|------------------|------------------|----------------------------|
| Itaipu | 9789 m^3/s | 11817 m^3/s | + 20% |
| Sobradinho | 2814 m^3/s | 2161 m^3/s | - 23% |

Climate change: a challenge to decision-makers in managing Brazilian hydro systems

A. Livino, Harvard University, Brazil
J. Briscoe, E. Lee and P. Moorcroft, Harvard University, USA
J. Kelman, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

The study described here aims to contribute to the investigation of impacts of climate and land-use changes on the hydrological cycle in Brazil. It explores how the climate and vegetation models can be used credibly in conjunction with hydrological models to investigate the impacts of climate change on the hydrological cycle. The paper describes work done in the Paraná river basin, and ongoing work in the Tapajós river basin.

Brazilian electric power generation is dominated by hydropower, which accounts for more than 80 per cent of production. Altogether, Brazil is building or planning more than 33 GW of new hydropower capacity in the next 10 years, most of it (around 75 per cent) in the Amazon. An important historical challenge to the operational planning of the Brazilian interconnected electrical system has been the stabilization of energy supply, as a result of the seasonal and annual uncertainty of hydro resources.

The present study, investigating the impacts of climate and land-use changes on the hydrological cycle, will provide new insights for two reasons. First, the hydrological model uses more realistic runoff, precipitation and evapotranspiration, which are generated from a biosphere model coupled with a regional climate model, thus incorporating land-use change and climate change into the assessment of future water resources for hydropower planning in Brazil. Second, the work promotes cutting-edge research and interaction among scientists, engineers, and also decision-makers who are participating from the beginning of this study, and may influence the presentation of the results and the most sensitive variables to be analysed.

The Paraná basin was chosen primarily to address the valid concerns of practitioners that few, if any, of the plethora of climate models are credible, because they make no effort to explain important features of Brazilian hydrology. In this case, the test was to see whether the results of the models would be able to explain 'the Paraná paradox', namely a large secular increase in flows of the Paraná river in recent decades.

The Tapajós basin was chosen because there are major plans for development of this currently undeveloped basin in the coming decades. Plans include hydropower, but also navigation, which is vital for a cheaper and more environmentally friendly export of grains.

1. Background

Climate change studies and assessment of changes in land use are often used as the basis for generating scenarios, which can assist in decision making in various sectors. However, practitioners show justified scepticism about these studies, since the results vary so widely and there are seldom efforts to show that the models can reproduce known hydrological features.

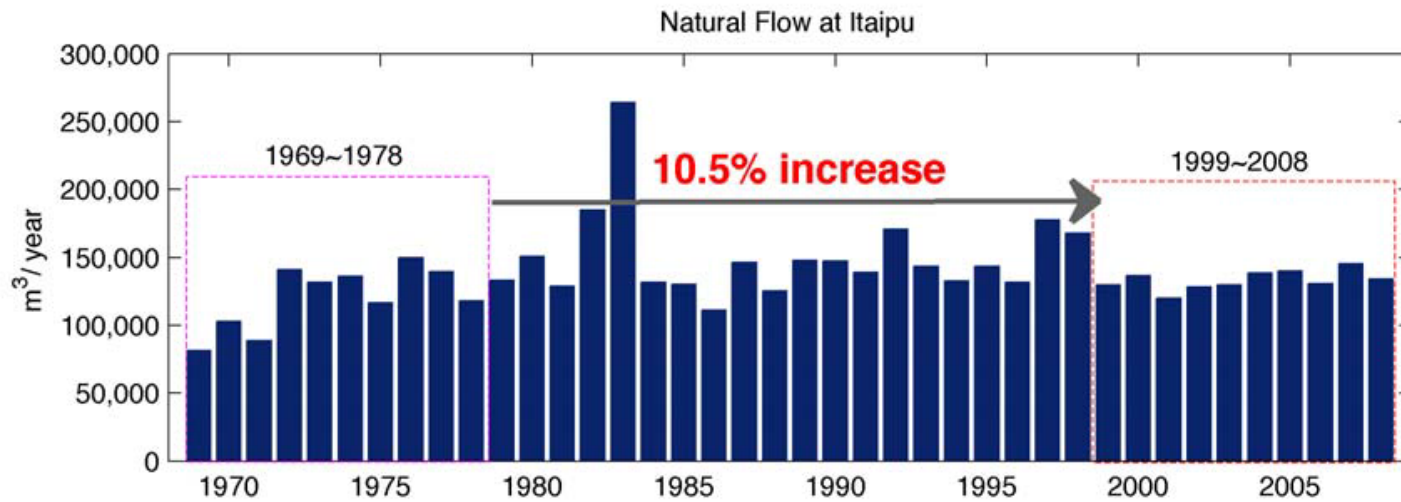
Many studies have been conducted to estimate and

analyse the hydrological impacts of climate change and the changes in land use. There is great interest in this type of study in Brazil because:

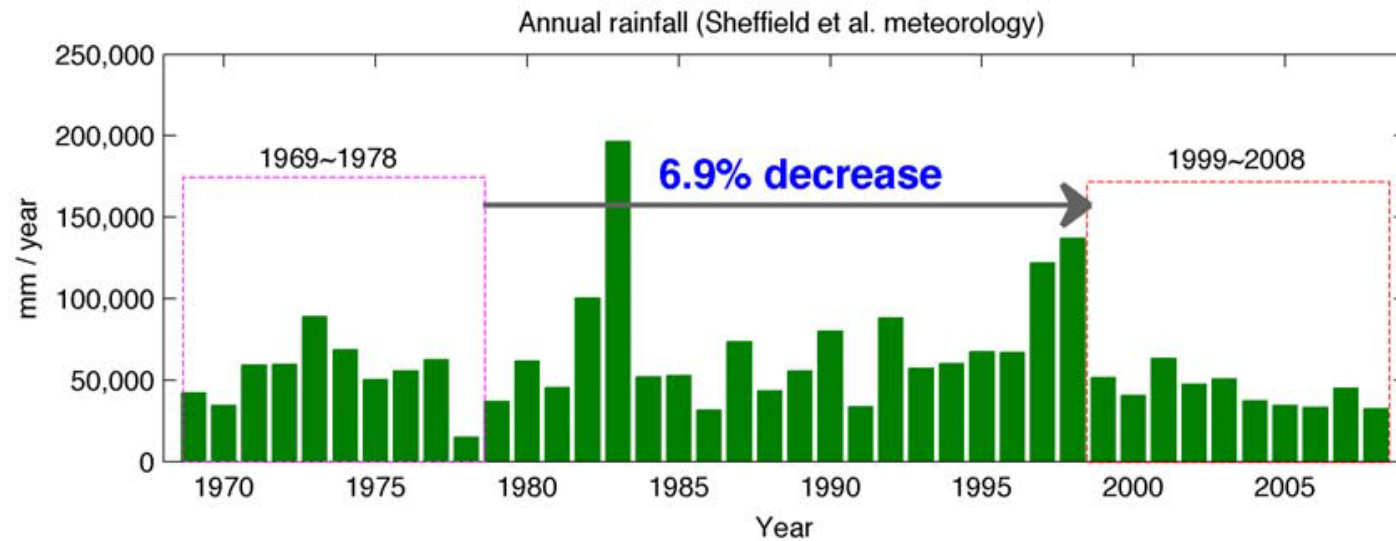
- more than 80 per cent of the electric energy is produced by hydroelectric plants;
- hydropower will retain a dominant role in the foreseeable future, despite the fact that most new plants will be built in the Amazon; and,
- most of the new plants will not have regulating reservoirs as a result of environmental constraints and the flatness of the terrain, which means that the energy output will be more dependent on the flow of the river, which in turn is directly linked to rainfall and soil characteristics and vegetation of the watershed*.

Studies of climate change and its influence on the hydrological cycle suffer from a mismatch between the spatial scales characteristic of each model type. Global climate models (GCM) usually work in the range of 1×1 (approximately 120×120 km) and seek to represent the processes and relationships between the atmosphere, the vegetation and the soil. On the other hand, hydrological models are traditionally used to represent and simulate the processes of runoff generation and their propagation in the drainage network in the catchment area. Most of these models consider only the processes of the land phase of the hydrological cycle, using rainfall as input data. They usually work on scales of 5×5 km. An advantage in the use of a regional climate model (RCM, such as BRAMS – Brazilian Regional Atmospheric Model) is that the current resolution (a scale of a few rather than hundreds of kilometres) enables them to capture the heterogeneity of the processes that influence the generation of the flow in the river basin scale without the need for disaggregation (downscaling). Both types of model, climate and hydrological, represent, with different levels of accuracy, the interaction soil \times climate \times vegetation. To use them jointly, it is necessary to deal with the redundant representations. In this context, this study sought to investigate the best hydrological models to contribute to the assessment of impacts in river flows, using as input the results of atmospheric models and vegetation.

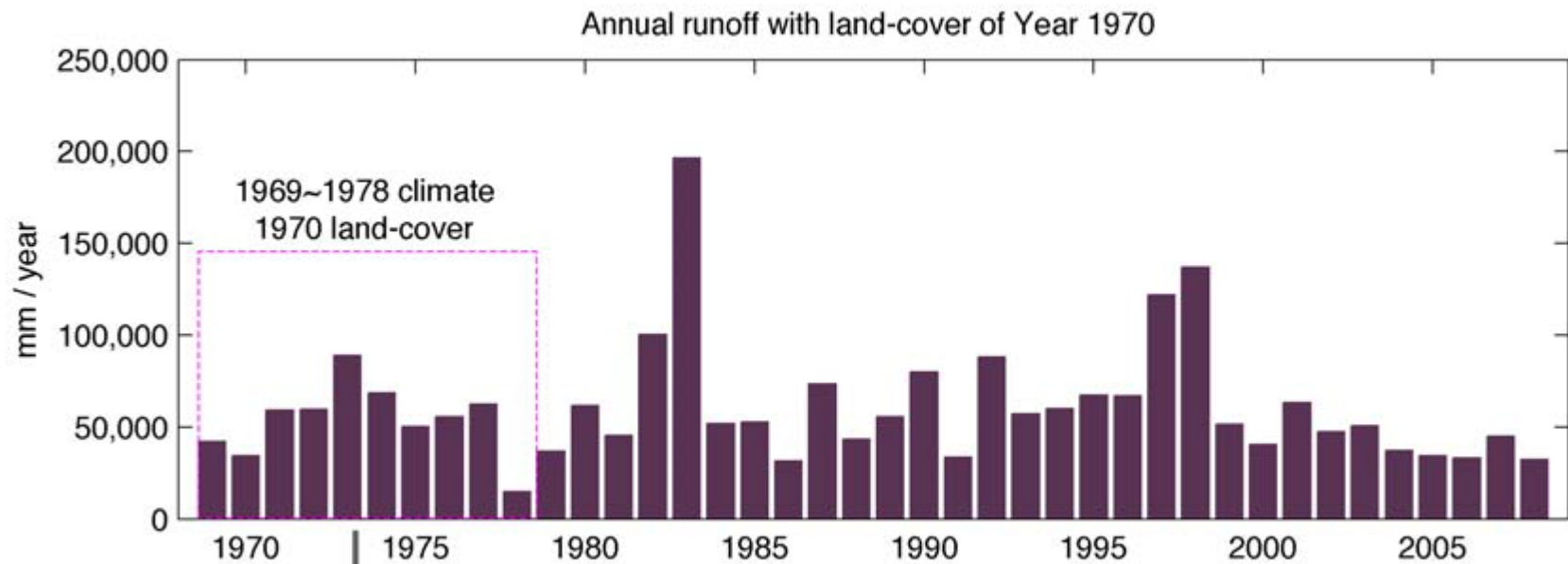
*In other words, the future powerplants will tend to be run-of-the-river, the same as those recently built or being built on the Madeira river (Jirau and Santo Antônio), Xingu river (Belo Monte), and Teles Pires river (Teles Pires and Colider).



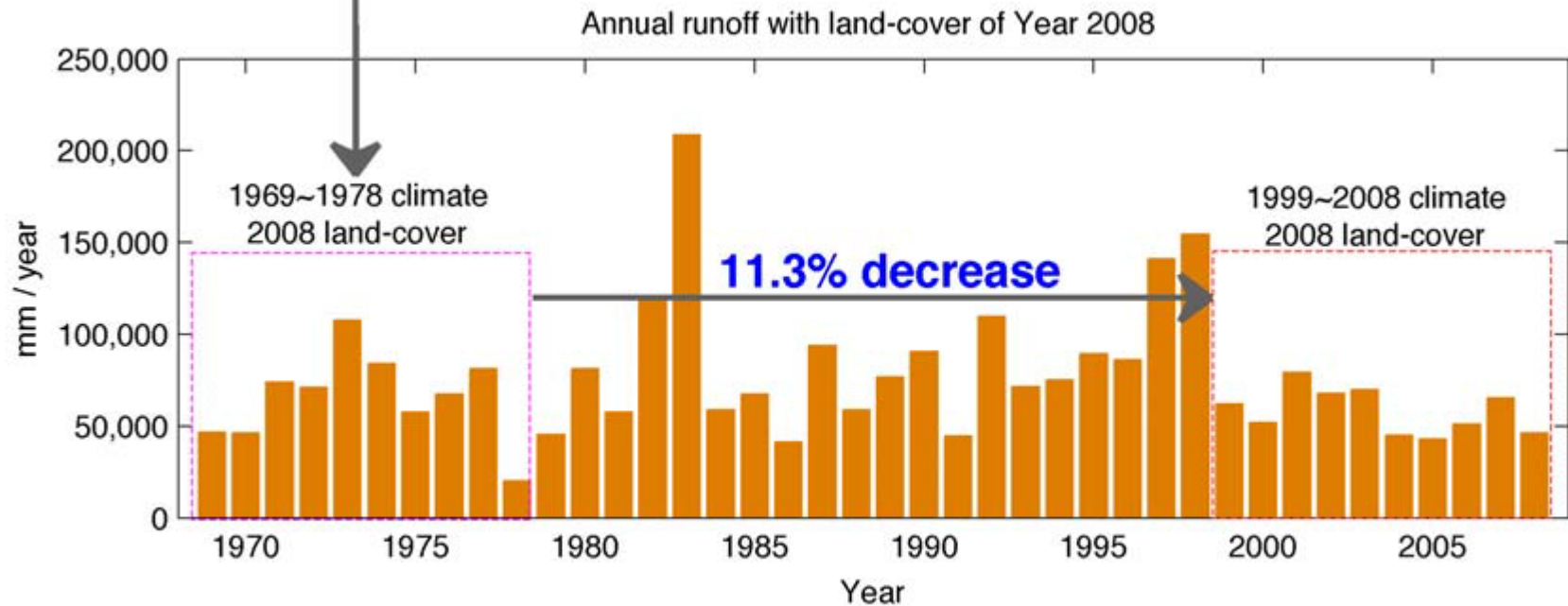
**Model:
8.5% increase**



Livino, Angela, John Briscoe, Eunjee Lee, Paul Moorcroft, and Jerson Kelman. 2014. Climate change as a challenge to decision-makers in the management of the Brazilian hydropower Systems. [The International Journal on Hydropower and Dams](#). 21(4):57-61.



24.4% increase



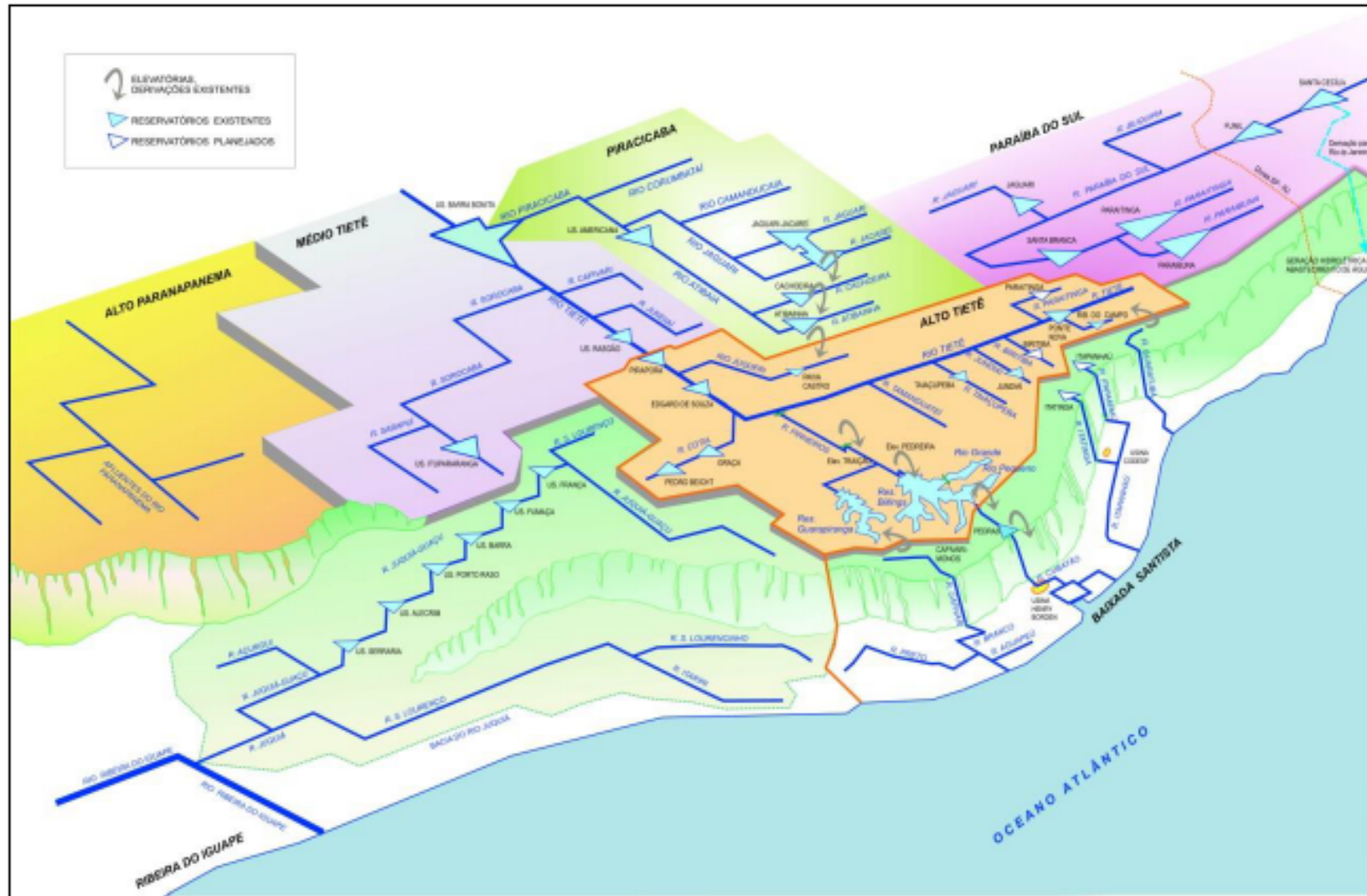
11.3% decrease

1. Não-estacionariedade hidrológica
2. A crise hídrica na Região Metropolitana de SP
3. Reservatórios, inventários e concessões de bacias
4. Revisão de garantias físicas

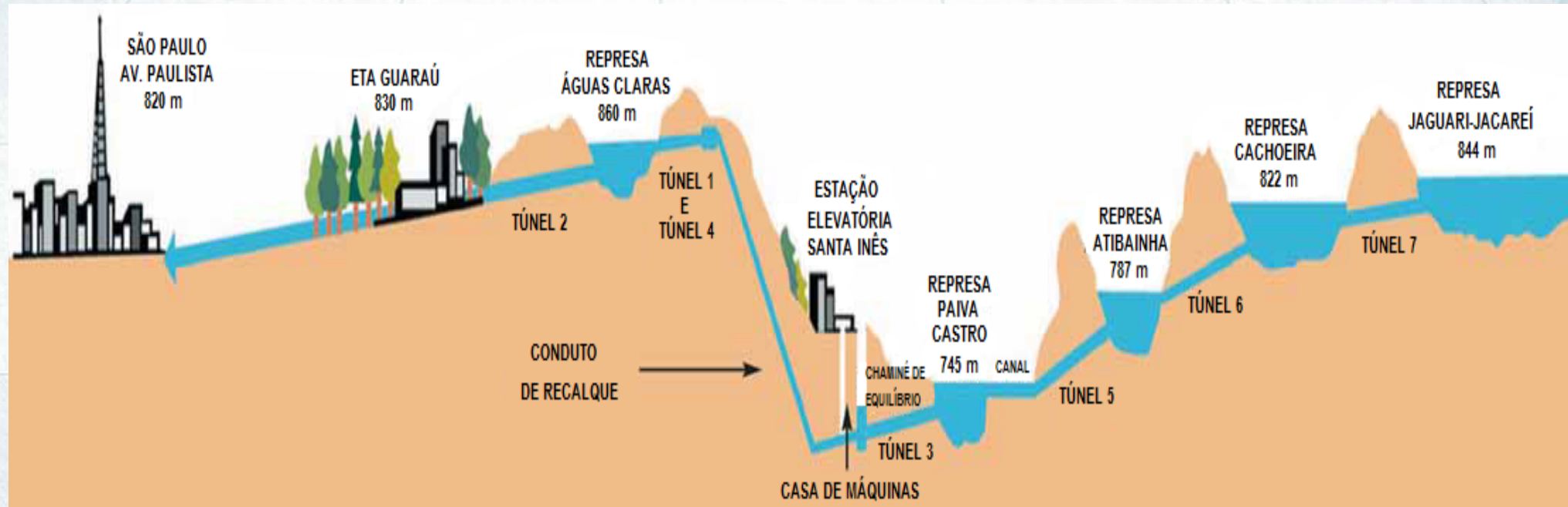
O SISTEMA CANTAREIRA



Plano Diretor de Recursos Hídricos da Macrometrópole Paulista, 2013



Sistema Cantareira

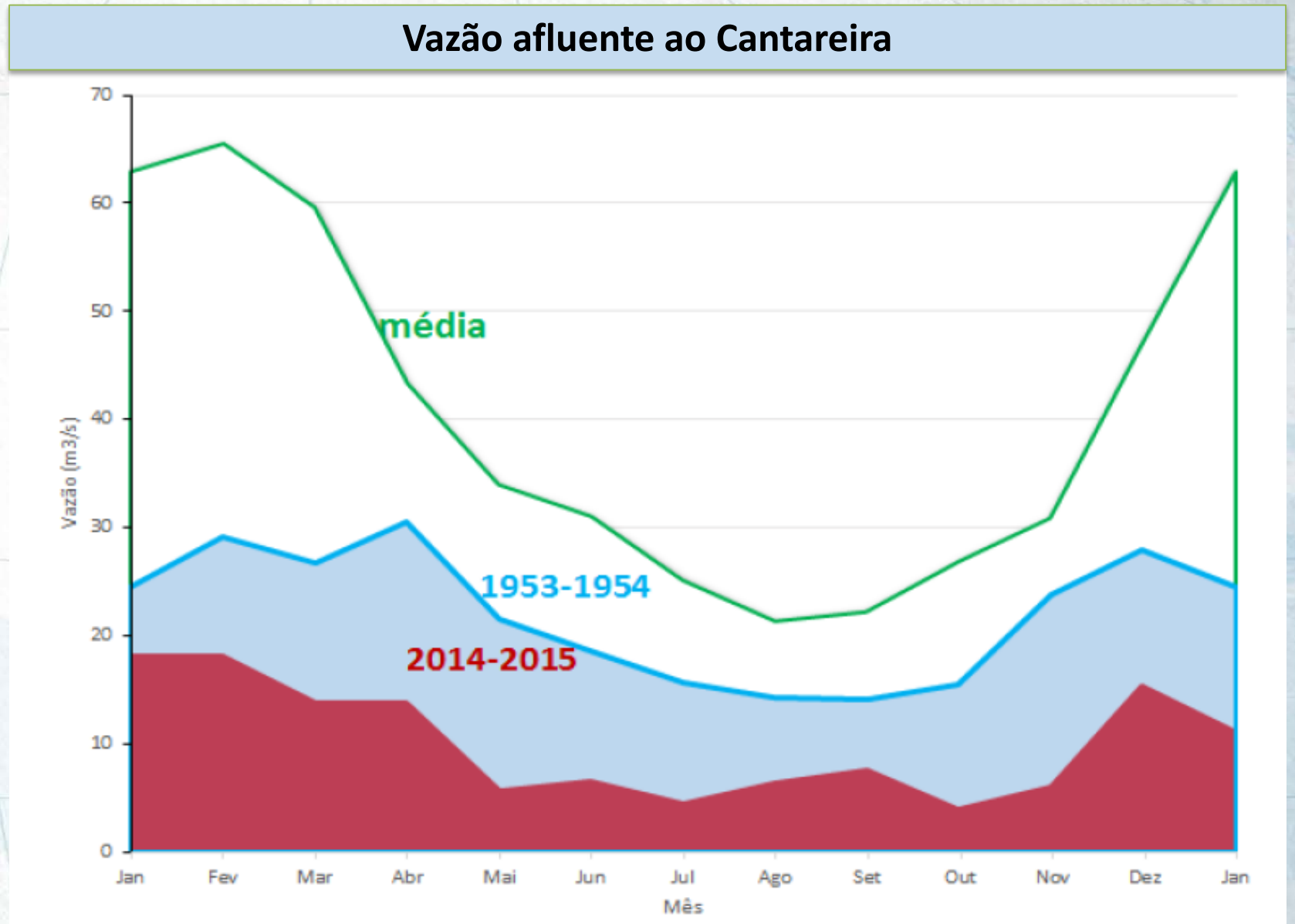


O Sistema Cantareira abastece, em condições normais, quase a metade da população da Região Metropolitana de São Paulo (22 milhões)

A mais grave seca em 84 anos de monitoramento

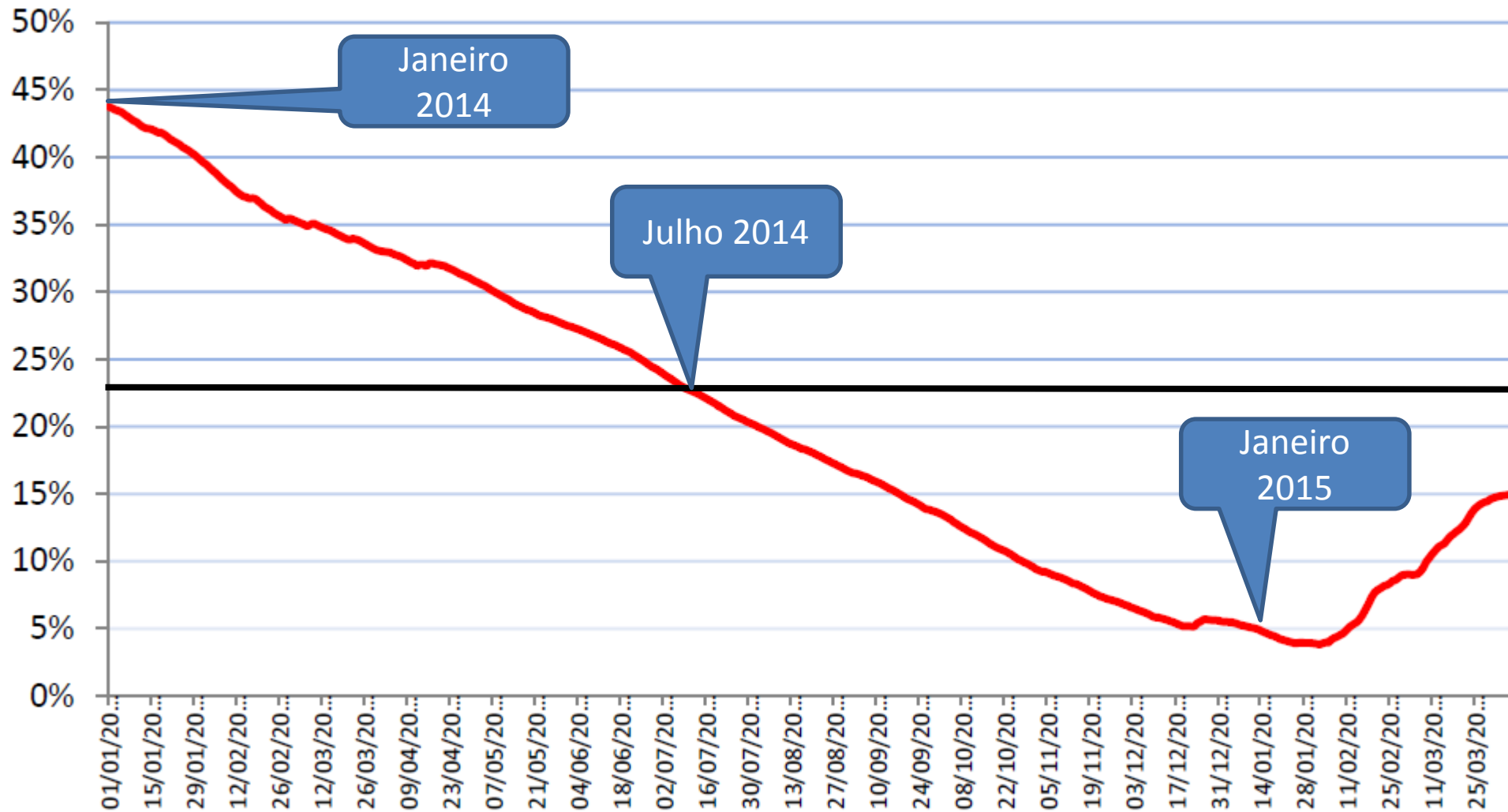
$$P(Q < q_{2014} = 0.004)$$

Tempo de recorrência de 250 anos



Deplecionamento do Sistema Cantareira

(volume em %)



**Programa
de Bônus**

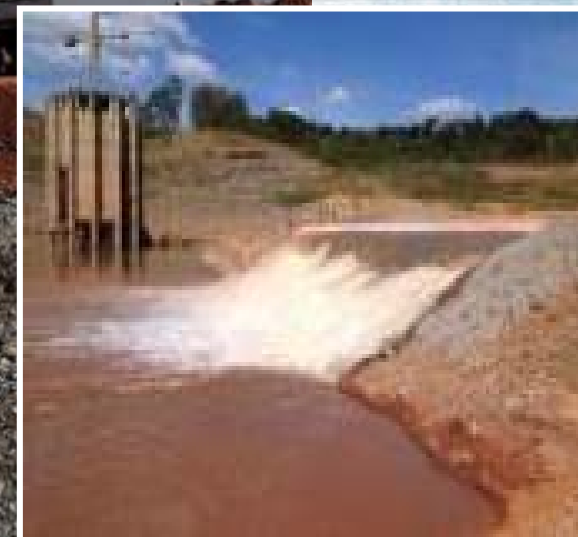
**Transferência de
água entre sistemas
de distribuição**

**Utilização da
Reserva Técnica**

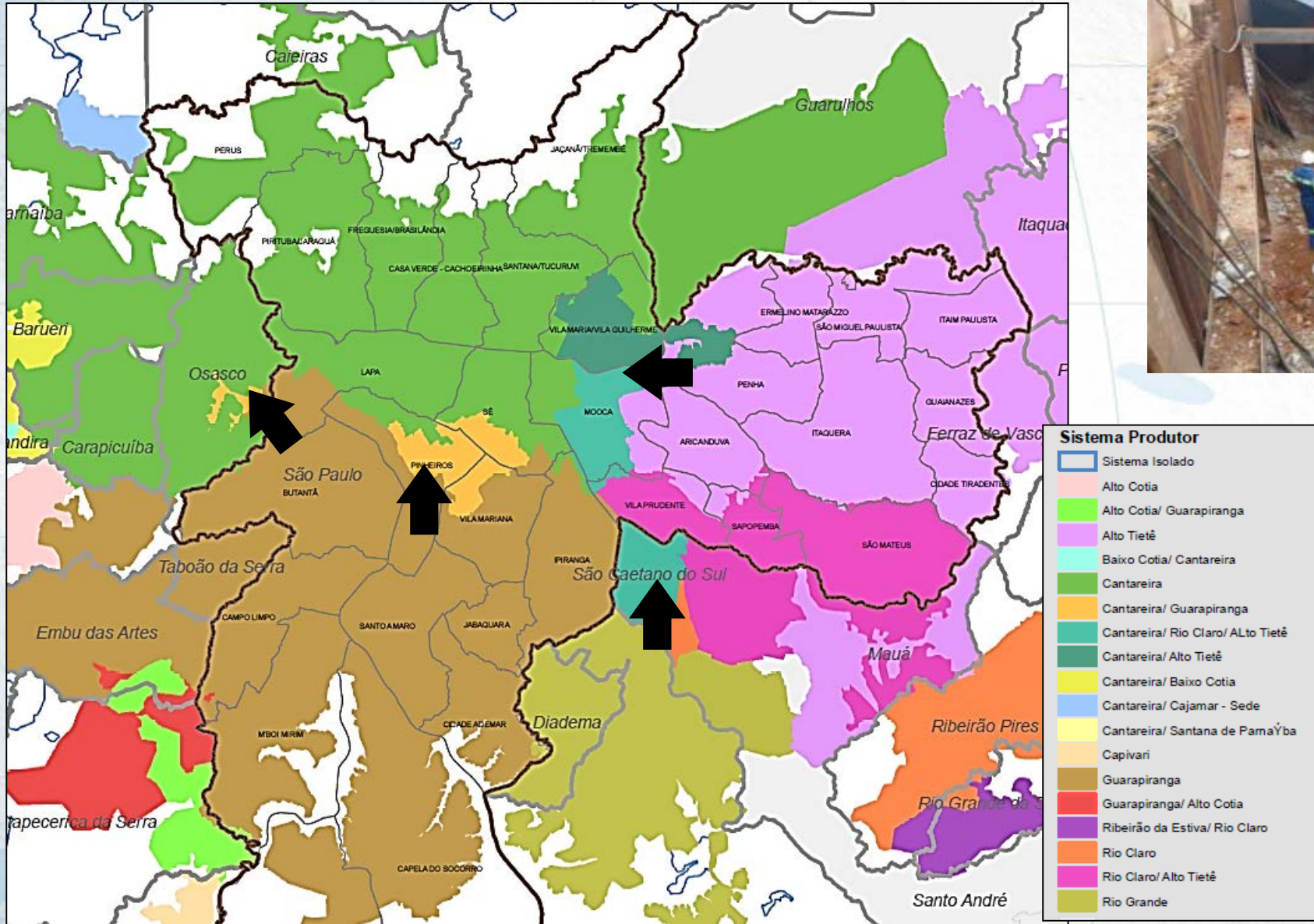
**Estratégia para
enfrentamento
da crise hídrica**

**Diminuição da
pressão nas
tubulações**

Garantia do abastecimento – Captação da Reserva Técnica do Cantareira



Transferência de água entre sistemas produtores via distribuição



Programa de Incentivo à Redução de Consumo

**DIMINUIÇÃO
DE CONSUMO
DE ÁGUA**

ECONOMIA DE **MAIS DE 20%** → **30%** DE DESCONTO NA CONTA

ECONOMIA DE **15 A 20%** → **20%** DE DESCONTO NA CONTA

ECONOMIA DE **10 A 15%** → **10%** DE DESCONTO NA CONTA

**AUMENTO
DE CONSUMO
DE ÁGUA**

AUMENTO DE **ATÉ 20%** → **40%** DE AUMENTO NA TARIFA DE ÁGUA

AUMENTO DE **MAIS DE 20%** → **100%** DE AUMENTO NA TARIFA DE ÁGUA

REDUÇÃO DE PRESSÃO NAS TUBULAÇÕES



IMÓVEIS RECEBEM ÁGUA DA RUA COM MENOR PRESSÃO, MAS A REDE PERMANECE PRESSURIZADA.

RODÍZIO DE ABASTECIMENTO

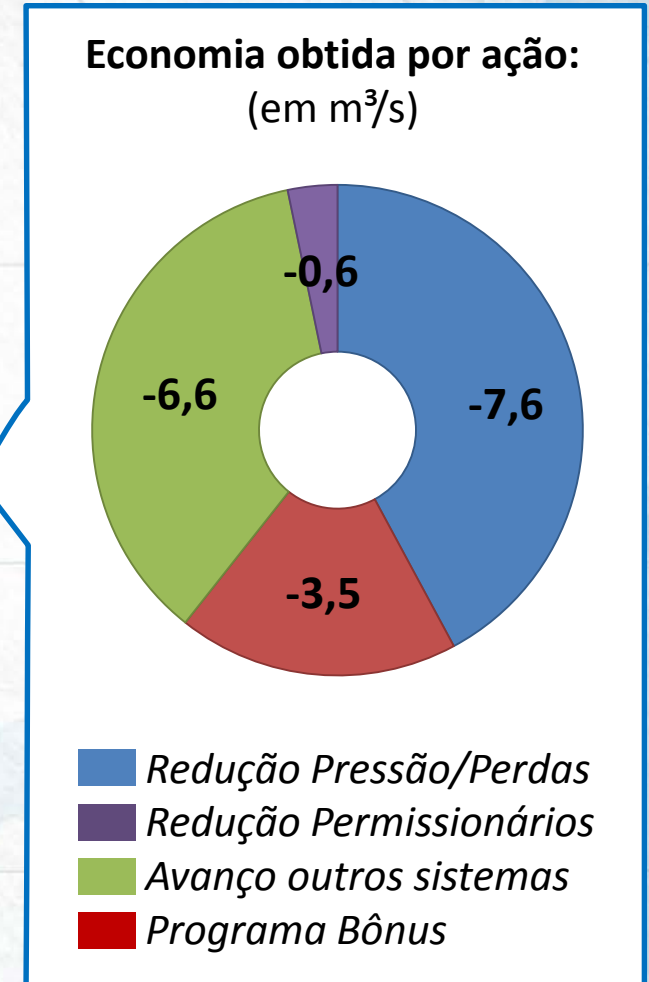
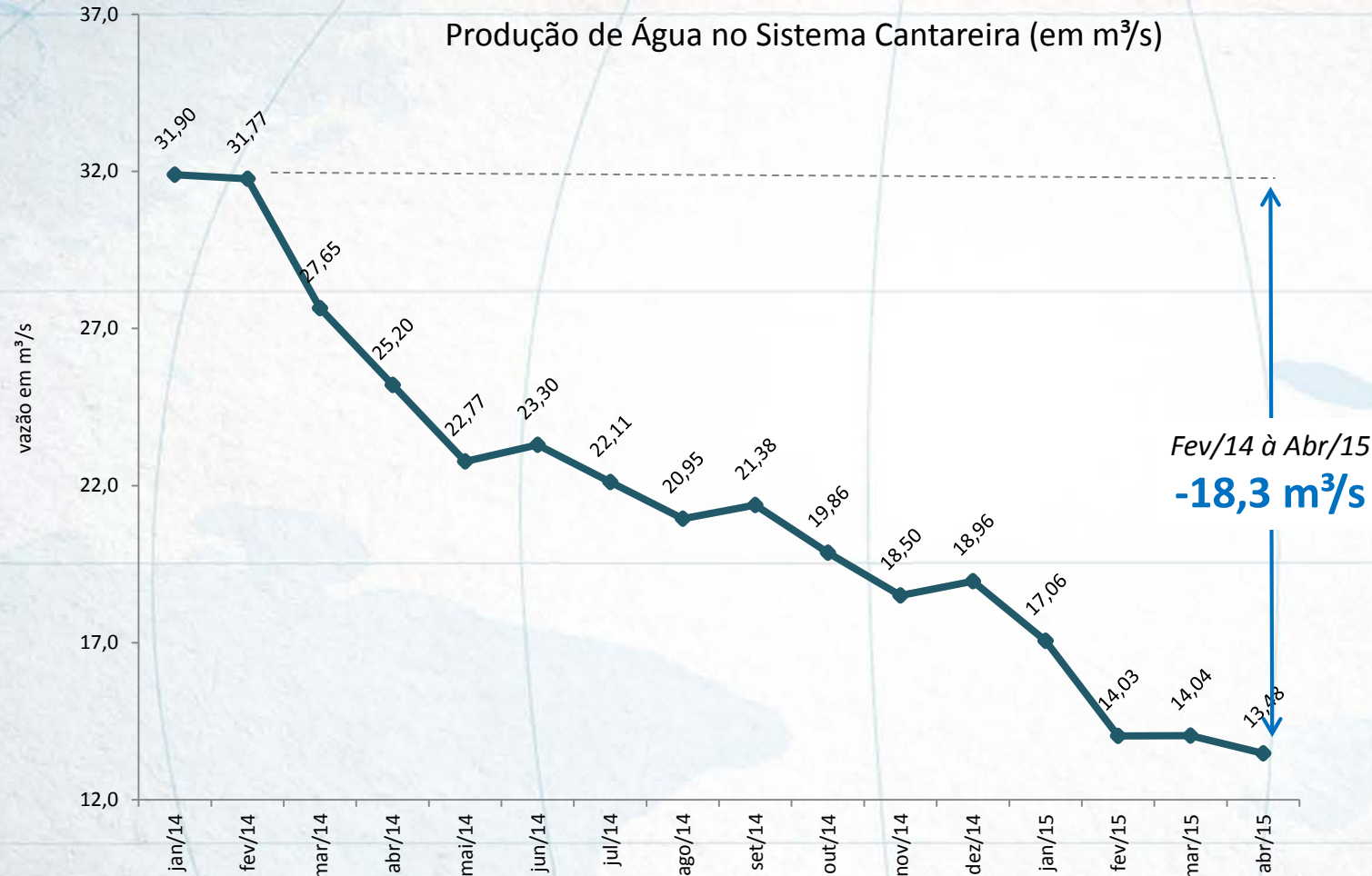
Ao contrário das demais situações, com rodízio, as válvulas são totalmente fechadas e toda região fica sem água.



COM A DESPRESSURIZAÇÃO DAS REDES POR LONGO PERÍODO, EXISTE O RISCO DE CONTAMINAÇÃO PELA ENTRADA DE ÁGUA DO SOLO ATRAVÉS DE FISSURAS NA TUBULAÇÃO.

AS REGIÕES MAIS ALTAS SOMENTE SÃO ABASTECIDAS DEPOIS QUE TODA A REDE E AS CAIXAS DE ÁGUA INTERNAS ESTIVEREM CHEIAS.

Ações executadas reduziram em 58% a utilização de água do Cantareira em Abril.

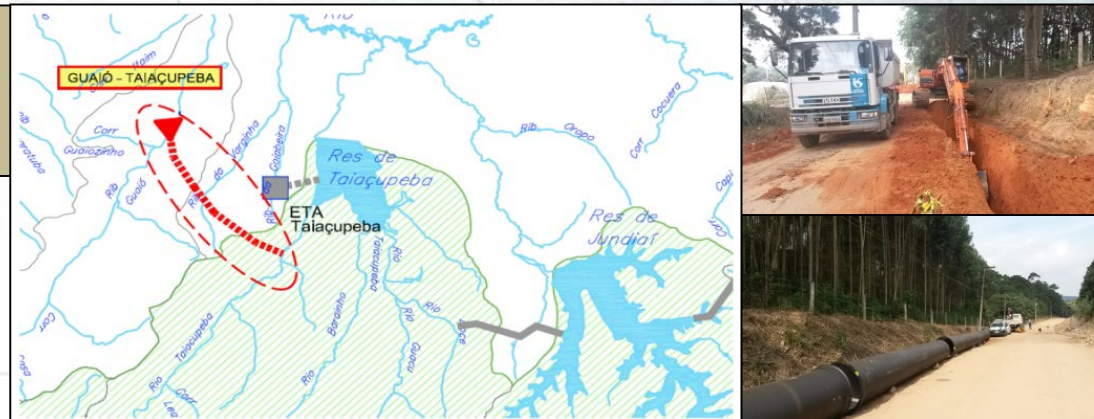


Comparação com Fevereiro/14 = último mês de produção normal, antes início das ações de combate à crise hídrica.

Obras para garantir o abastecimento de água em 2015

Implantação da adutora de água bruta no Ribeirão Guaió para o rio Taiacupeba Mirim para o rio Taiacupeba Mirim

Extensão 9 km, Diâmetro 800 mm em Ferro Fundido, Aço e PEAD

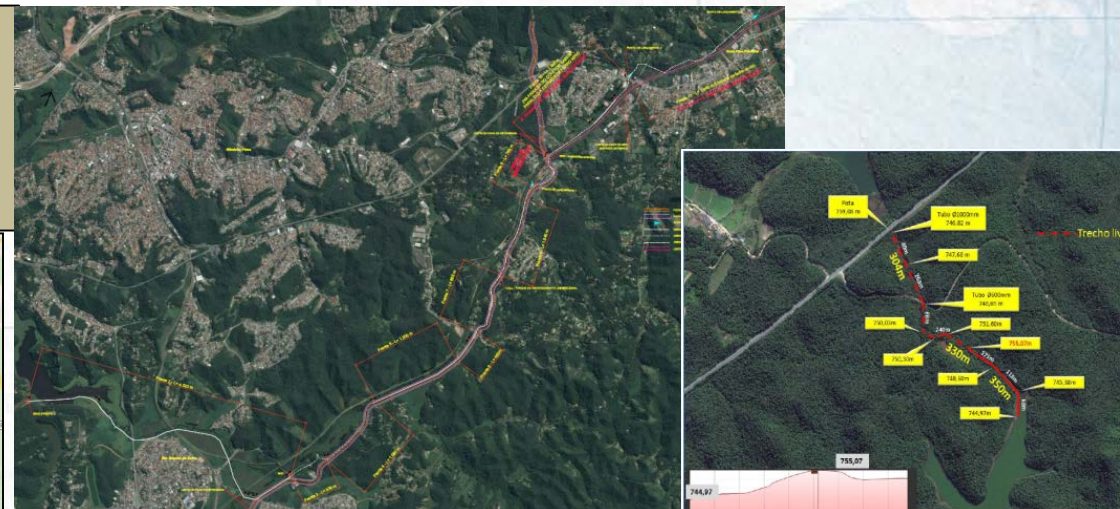


Ampliação da ETA RJCS em 1 m³/s (Sist. Guarapiranga)

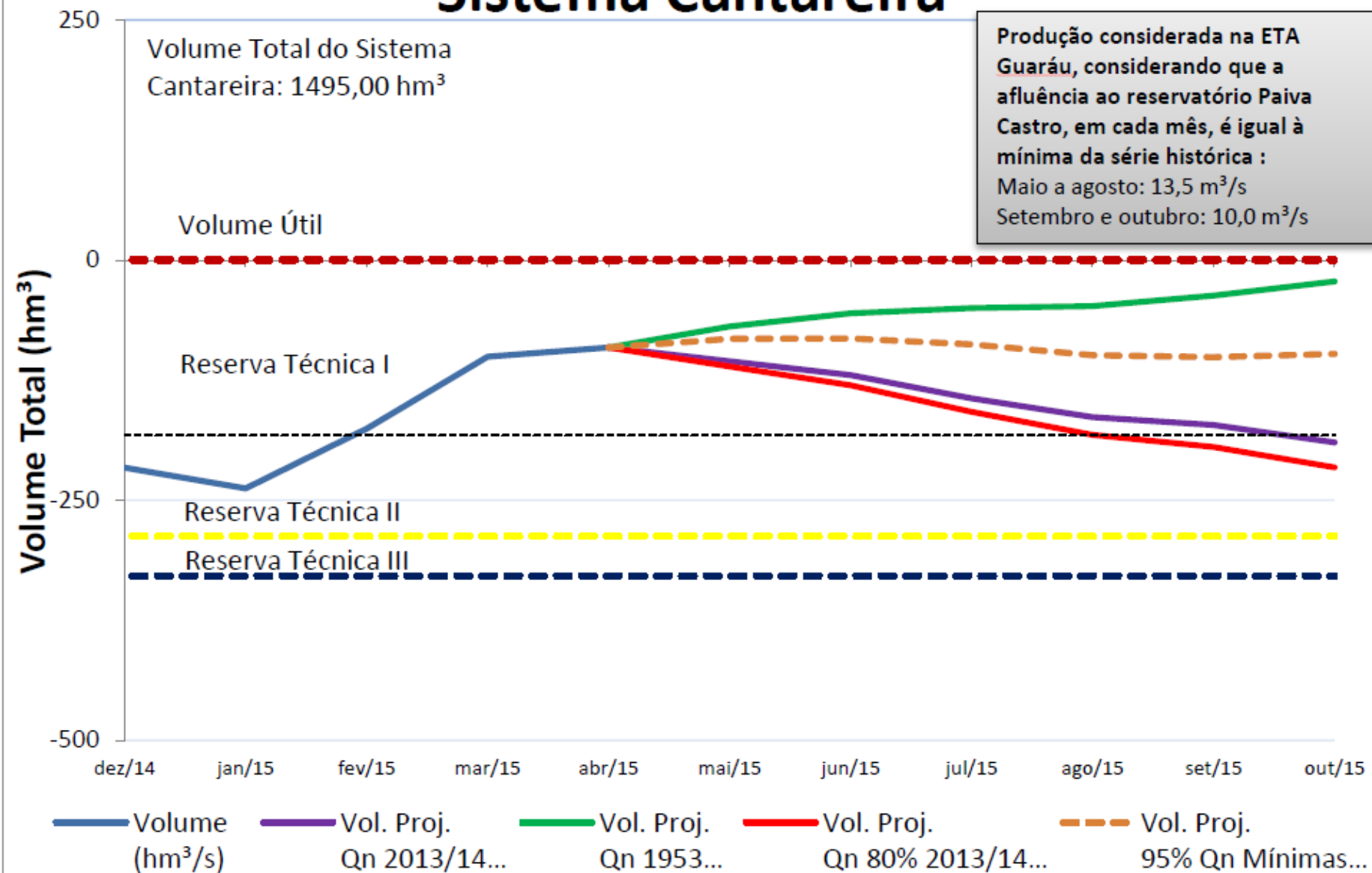
Implantação de 6 módulos de ultrafiltração por membrana

Bombeamento de 4 m³/s do Rio Pequeno para o Rio Grande e, na sequência, transporte para a represa Taiacupeba (Sistema Alto Tietê)

Extensão 13 km, duas adutoras de Diâmetro 1200 mm



Sistema Cantareira

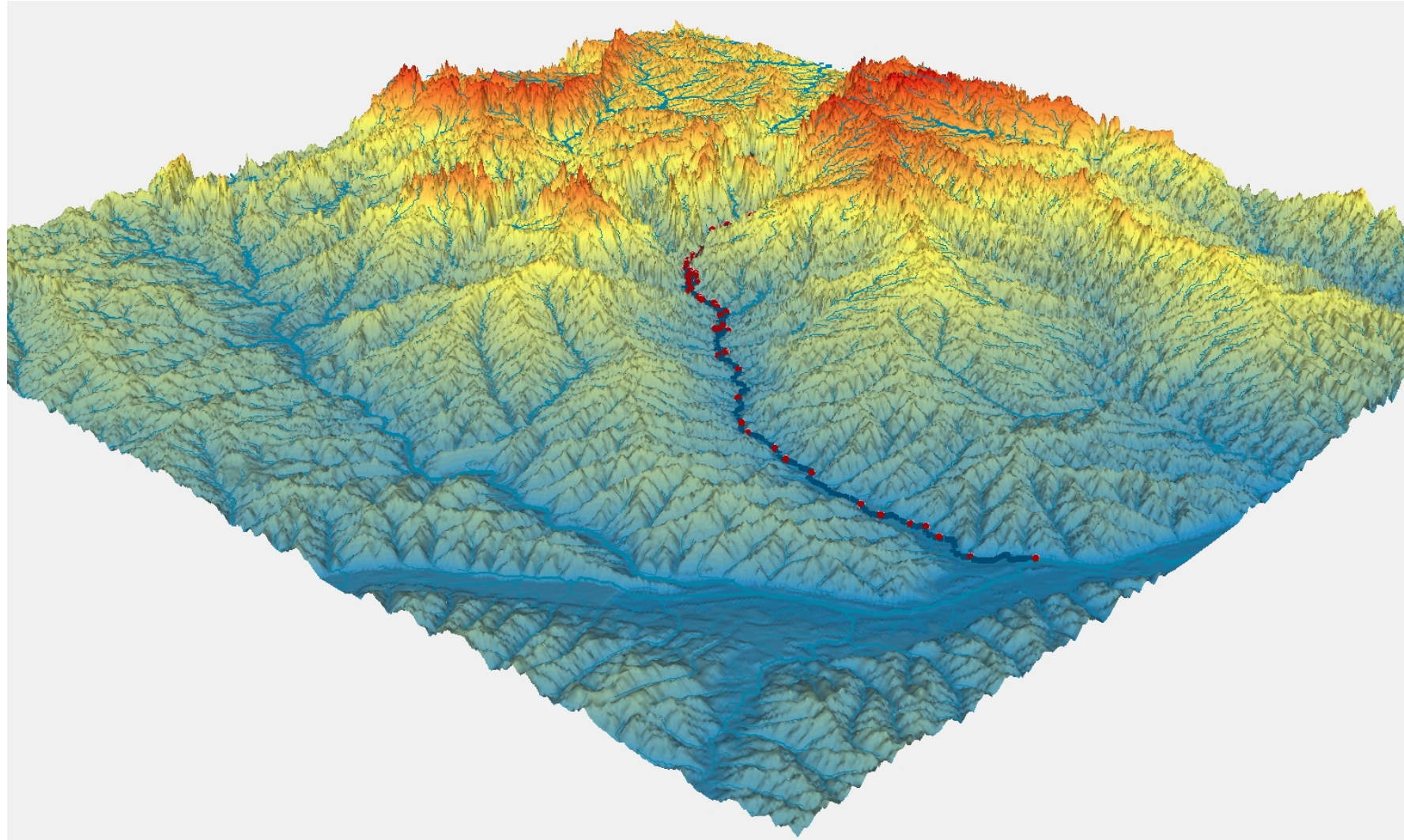


1. Não-estacionariedade hidrológica
2. A crise hídrica na Região Metropolitana de SP
3. Reservatórios, inventários e concessões de bacias
4. Revisão de garantias físicas

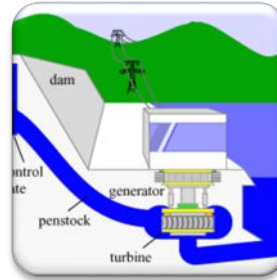
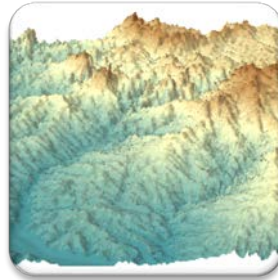
Os reservatórios de regularização podem e devem ser construídos quando as condições hidrológicas, topográficas, energéticas e as externalidades forem favoráveis, sem necessidade que haja uma usina hidrelétrica associada... porém, com as regras atuais, reservatório puro é inviável (benefício indireto limitado à potência instalada)

Alguns inventários foram desenvolvidos para trecho de bacia, sem atenção ao efeito sobre todas as usinas localizadas a jusante, futuras e existentes

MDE – Visão 3D



Hera (PSR)



$$\begin{aligned} & \text{Max } F(x) \\ & \text{sujeito a:} \\ & A(x) \leq b \end{aligned}$$

SIG

- Rede de Drenagem
- Locais Candidatos
- Curvas cota-área-volume
- Regionalização das vazões
- Análise de interferências

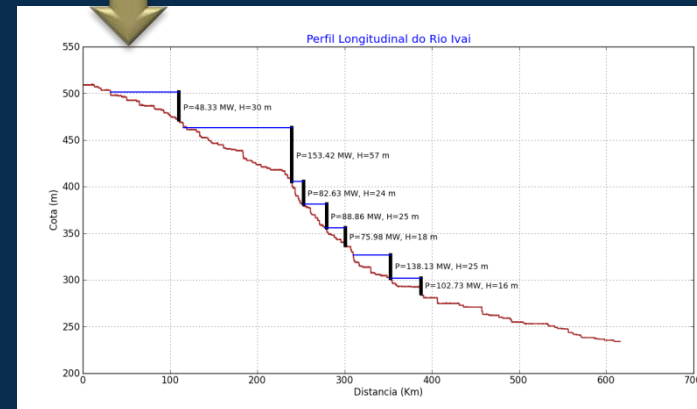
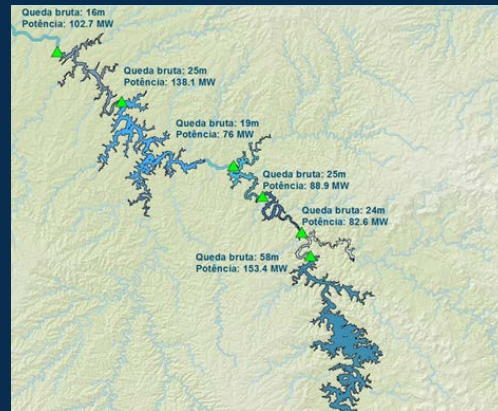
Orçamento

- Dimensionamento das estruturas
- Interface CAD para cálculo de volumes
- Cálculo do orçamento

HERA (Otimização)

- Análise de Custo x Benefício
- Alternativas de quedas

Resultados



A comparação entre diferentes divisões de queda admite a “complementaridade energética”, mas não a ambiental

Concessão de uso múltiplo de bacias hidrográficas
(Hidrovia x Lei 13081/2015; motivação para construção de reservatórios)

1. Não-estacionariedade hidrológica
2. A crise hídrica na Região Metropolitana de SP
3. Reservatórios, inventários e concessões de bacias
4. **Revisão de garantias físicas**

Revisão Ordinária de Garantia Física de Energia das Usinas Hidrelétricas – UHEs (dezembro 2014)

- Somatório das garantias físicas das usinas hidrelétricas, que podem ter seus montantes de garantia física revistos, já considerando o limite máximo de redução de 5% para cada usina: 40.749 MW médios
- Somatório das garantias físicas vigentes destas usinas: 41.120 MW médios
- diferença insignificante: 0,5% da carga crítica do SIN

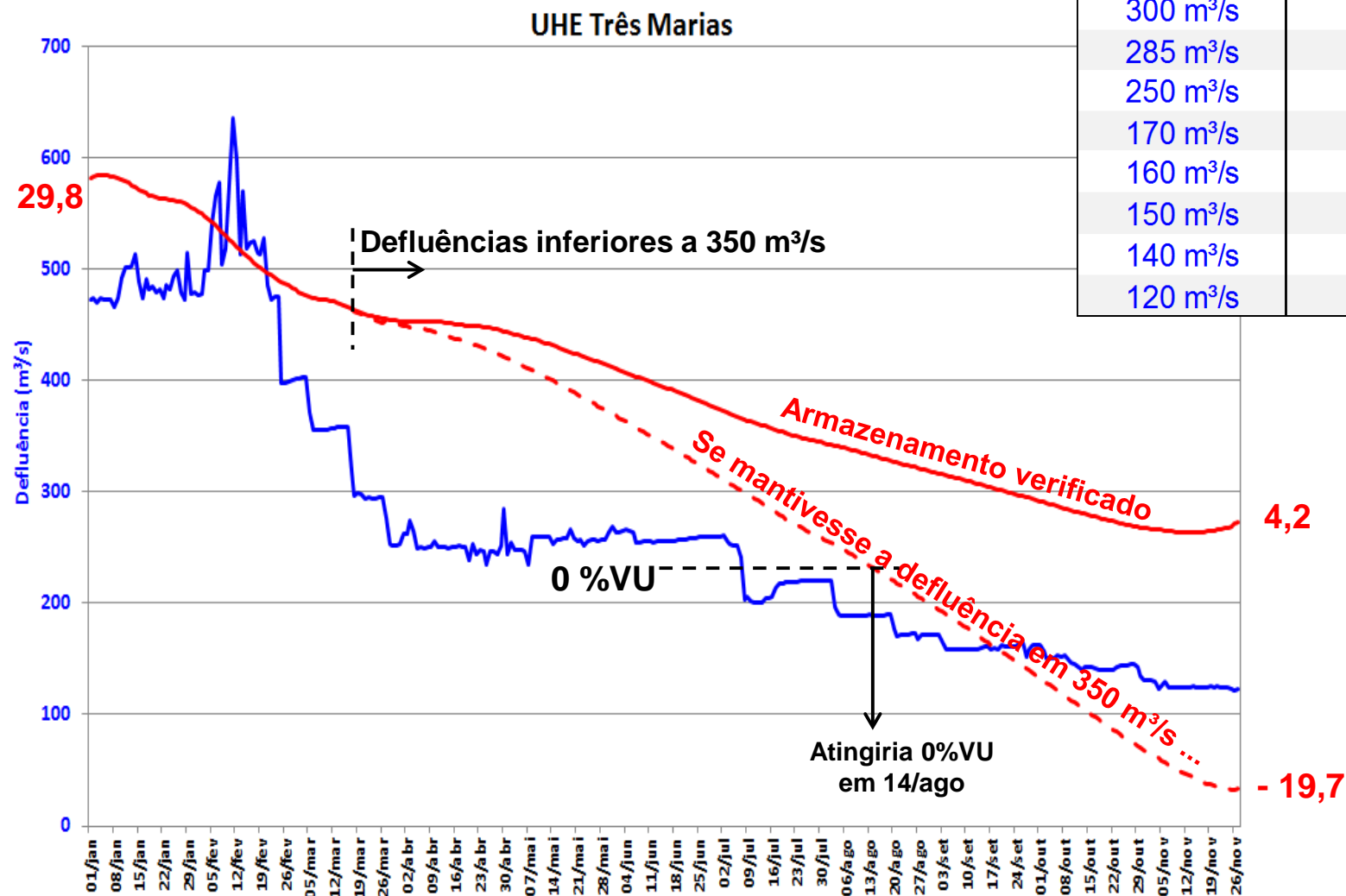
Revisão Ordinária de Garantia Física de Energia das Usinas Hidrelétricas – UHEs (dezembro 2014)

Aperfeiçoamentos

- Usos consuntivos
- Batimetria dos reservatórios (Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 3/2010)
- Rendimento do conjunto turbina-gerador e perda hidráulica
- Período crítico probabilístico
- Restrições operativas

| Bacia | Usina | Restrição | Motivo | Flexibilização |
|---------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| São Francisco | Sobradinho / Xingó | 1.300 m ³ /s | Captação de água | 1.100 / 900 m ³ /s |
| | Três Marias | 500 m ³ /s | | 120 m ³ /s |
| Paraná | Ilha Solteira / Três Irmãos | 46 %VU | Hidrovia Tietê-Paraná | 0 % VU |
| Tietê | Barra Bonita | 48% VU | | 5 % VU |
| | Promissão | 29% VU | | 5 % VU |
| Grande | M. de Moraes | 75 %VU | Captação de água | 5 % VU |
| Paraná | Porto Primavera | 5.500 m ³ /s | Requisito Ambiental | 3.000 m ³ /s |
| | Jupiá | 4.000 m ³ /s | Requisito Ambiental | 2.500 m ³ /s |

Flexibilização da Defluência Mínima na UHE Três Marias



Fonte do gráfico: ONS, citada por ER dez 2014, PSR

Energy Report, PSR
(dez 2014)

1) Bomba flutuante:
R\$600 mil, não foi paga
pelos consumidores de
energia elétrica

2) Se, a flexibilização
de regras operativas
não gerar
externalidades... é
possível torná-la
definitiva

Solução tipo ESCO?