

# USINAS HIDRELÉTRICAS DO SÉCULO XXI, UM EMPREENDIMENTO COM RESTRIÇÕES A HIDROELETRICIDADE

Pedro José da Silva

Faculdade de Engenharia - Fundação Armando Alvares Penteado  
Escola de Engenharia – Instituto Mauá de Tecnologia

## RESUMO

Brasil, sexta potência econômica do planeta, manter e avançar esse desenvolvimento econômico exige enorme quantidade de energia elétrica. O objetivo desse trabalho é questionar o novo enfoque dado à construção de usinas hidrelétricas com pequenos reservatórios, ou seja, com pequena reserva de energia elétrica. A metodologia para o desenvolvimento da pesquisa fundamenta-se em um estudo descritivo/correlacional, pois consiste da observação e registro de eventos nas obras de construção de usinas hidrelétricas. Apresenta-se como resultado a identificação da necessidade de se desenvolver projetos que contemplem simultaneamente os grandes reservatórios e o atendimento às seguintes sustentabilidades: técnica, econômica, financeira, política, social, jurídica e ambiental, considerando-se que a principal matriz de energia elétrica é função da quantidade de água armazenada, nos reservatórios das usinas hidrelétricas.

A observação das complexas relações do homem com o seu planeta, pode ser revelada através da ocupação do espaço. Imagine um filme da população, passado a cada década, qual seria o espanto ao saber que a população mundial duplicava a cada 1000 anos, mas o espaço de tempo para esta duplicação foi diminuindo ao longo dos anos, de 200 para 80, para 45 anos, sendo que as projeções de duplicação em 25 anos não foram confirmadas (Freiria; Garcia, 2001).

No início desse século éramos seis bilhões de pessoas no mundo, sendo que, quatro bilhões dormiam diariamente com fome e, países como China e Índia, juntos, abrigavam 40% deste mundo de pessoas. Esta população ocupava 70% das terras do planeta e, os 30% restantes, referiam-se a matas e florestas.

Segundo as projeções, em apenas treze anos deveremos acrescentar ao planeta, mais 1 bilhão de pessoas; para os anos 2025 e 2050 a população mundial será 8 e 9 bilhões respectivamente. Espera-se que a partir desse ponto a população estabilize ou diminua, devido à escassez dos recursos naturais do planeta, pois a capacidade não atende uma população maior que 12 bilhões.

Brasil, um país potencialmente rico, somos donos de uma das maiores redes hidrográficas do mundo, mas não a utilizamos corretamente. Esse mesmo Brasil, possui um enorme potencial de produção de grãos no interior de seu continente (Zona Centro-Oeste), e a hidrovia em sincronismo com os outros modais, conectaria as áreas produtoras com a frota oceânica; se assim o fizéssemos, estaríamos ocupando espaço privilegiado no comércio exterior, pois os produtos dos setores primário (pecuária, agricultura, pesca e mineração) e secundário (automóveis e outros) seriam imbatíveis no mercado internacional.

O cenário futuro, é altamente favorável ao setor primário, no mercado global, principalmente ao que se refere a produção de grãos. Os três países em desenvolvimento que estão despontando na produção de grãos, são: China, Índia e Brasil. ***Há porém um cenário previsto no qual China e Índia terão problemas para manter suas produções, por escassez de recursos hídricos.***

## Sofisma

Um sofisma é um argumento que parte de premissas verdadeiras, ou tidas como verdadeiras, e chega a uma conclusão inadmissível, que não pode enganar ninguém, mas que se apresenta como resultado de regras formais do raciocínio, não podendo ser refutado.

## Globalização

A crescente preocupação com questões ambientais, contemporaneamente, pode ser entendida como uma tendência nebulosa, resultado de uma expressão muito rica de significado, e muito mais conveniente para nós, que vivemos sem o distanciamento histórico, pois torna menos definitiva, sob uma perspectiva futura, as adjetivações realizadas, expressão esta identificada como globalização. A globalização conduz a uma natureza propagandista, direcionada à preservação e não à conservação da porção bio-geo-física do meio ambiente.

# **Necessidade Básicas do Ser Humano: Habitar, Circular, Recrear, Trabalhar.**

## **Conservação da Natureza**

Significa a sabia utilização dos recursos naturais renováveis, segundo o qual o homem deveria buscar a manutenção do equilíbrio biológico entre as suas necessidades e a capacidade, a longo prazo, da natureza para satisfazê-las.

## **Preservação da Natureza**

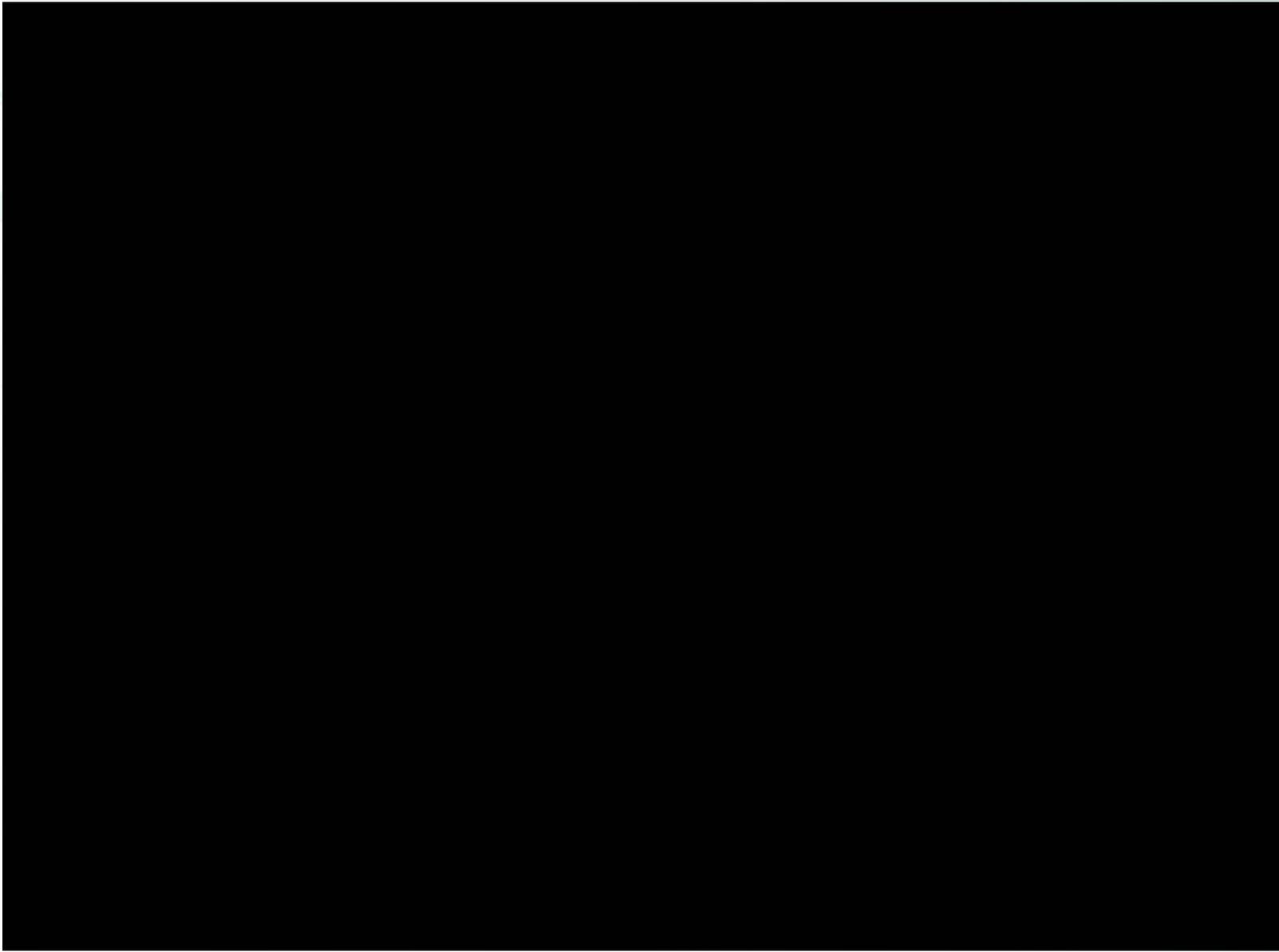
O termo preservação aplicar-se-á de maneira mais restrita às áreas que não podem e não devem sofrer qualquer espécie de intervenção, com vistas ao aproveitamento econômico.



## Gestão do Conflito

Segundo Ab' Sáber (2003) – “Não se pode falar em potencialidades paisagísticas sem pensar no grande dilema dos tempos modernos: o economismo e o ecologismo. Enquanto o economismo é de um imediatismo por vezes criminoso, o ecologismo, tomado em seus termos mais simples, é de uma ingenuidade e puerilidade tão grandes que chega a prejudicar qualquer causa que vise à proteção dos recursos naturais ditos renováveis, na maioria dos casos de muito problemática reconstrução” .

$$\begin{aligned}[(\Phi^*)^{-1}(\gamma_k) &= (\sum_j \gamma_j M_{jk}) / (\sum_k \Phi_k^* M_{jk}) \Rightarrow \\ \partial_c(\Phi^*)^{-1}(\gamma_k) &= \partial_c(\sum_j \gamma_j M_{jk}) - \partial_c(\sum_k \Phi_k^* M_{jk}) \\ -\partial_c(\gamma_j) + \ln \partial_c(M_{jk}) &= -\partial_c \Phi - \ln \partial_c(M_{jk}) \geq \\ &= 1.\end{aligned}$$



$[(\Phi^*)^{-1}(\gamma_k)$   
 $\partial_c(\Phi^*)^{-1}(\gamma_k)$   
 $\partial_c(\Phi^*)^{-1}(\gamma_k)$   
=

FACTOR

$\Phi$

MJTO RUG80

RUCSDADE MED4

MJTO L80 L80

Decisão quanto a implantação e macrolocalização de barragens

Inventário da região;

Estudos da região

Fotografia aéreas

Existência de estradas, habitações, campo de cultura

Estudos e Levantamentos – Sequência

Reconhecimento – Permite: fazer a “Seleção” de um ou mais locais do vale de curso de água adequadas à construção de uma barragem; estudo das condições existentes.

Fase 1 – Estudos preliminares, de dados disponíveis, no escritório.

Compreende:

Finalidade da obra;

Vazões necessárias;

Dados hidrológicos do curso de água –

Vazão máxima

Vazão de extravazamento

Fase 2 – Estudos no campo para reconhecimento das condições existentes –  
Corresponde a visita ao local do curso de água para verificação das condições, e coleta sumária de dados relativos a: topografia, solos, valor da terra, propriedades, tipos de uso da terra, etc.

Locais considerados favoráveis:

Vale estreito;

Vale alto;

Vale alargando para montante;

Vale com encostar íngremes;

Solos (rochas) favoráveis à fundação

Materiais de construção disponíveis, tais como: solo, areia, pedra, cascalho, madeira, etc.)

Investigação Preliminar – tem por objetivo a coleta de dados que possibilitem estudos de escritório visando a obtenção de esquemas de barragens e custo de cada alternativa, em função disso escolher o local mais favorável.

Estudo técnico-econômico que permite a escolha do local para a construção da barragem

Estudos Topográficos

Levantamento expedito de diversos locais;

Levantamento por meio de fotografias aéreas existentes;

Levantamento plani-altimétrico na escala 1;5.000 ou 1;10.000 com curvas de nível de 5 em 5m.

Estudos: Geológico/Geotécnico/Mecânica dos Solos

Furos de sondagem

Falhas

Faturas

Cavidades,

Canais,

Estudos de capacidade de carga do solo e rochas

Materiais de Construção

Pesquisas de solos com alguns furos de sondagem e retirada de amostras para ensaio de caracterização

Pesquisas de jazidas – pedra, cascalho e areia

Madeiras

Utilidades Públicas e Propriedades

Levantamento de todas as utilidades públicas e locar na planta topográfica da bacia ( estradas de ferro e rodagem, oleodutos, usinas, etc.)

Estudo de dados existentes no CTH e DAEE.

Dados como:      Fluviometria

                     Sedimentometria

                     Precipitações

                     Evapotranspiração e dados sobre grandes vazões (perguntar para as pessoas mais idosas)

## Investigação Final

- Determinação do tipo de barragem;
- Determinação precisa do solo de fundação
- Determinação da área a ser inundada na ocasião da máxima vazão de enchente
- Estudo das relocações de utilidades públicas
- Determinação da locação final da barragem e dos órgãos (vertedor, tomada de água, casa de máquinas, etc.)

## Em síntese:

### Localização e espaçamento das barragens

Condições Econômicas – localização, etc.

Topografia, geologia, geotecnia, mecânica dos solos, inundações, acessos

Espaçamento – altura das barragens

Influi: inundação, custo, etc. quanta mais próximas as barragens, maior o seu número.

Perda de tempo maior para as embarcações.

Para a capacidade de tráfego ideal – todas de mesma altura- critério

Tendência moderna – aumentar a altura (até 35 m – 45 m) aumentando o espaçamento (Aproveitamento hidroelétrico).

## ALTURA DE BARRAGENS

O dimensionamento da altura das barragens para múltiplos reservatórios, incluindo o emprego ou não de comportas nos dispositivos extravasores.

O dimensionamento no que se refere a questão 1 consiste na determinação da forma, ou seja a dimensão, e mais especificamente a dimensão que corresponde a altura de barragens para múltiplos reservatórios.

## SUSTENTABILIDADE TÉCNICA

A determinação da altura do reservatório está relacionada diretamente com as características físicas do reservatório, a saber:

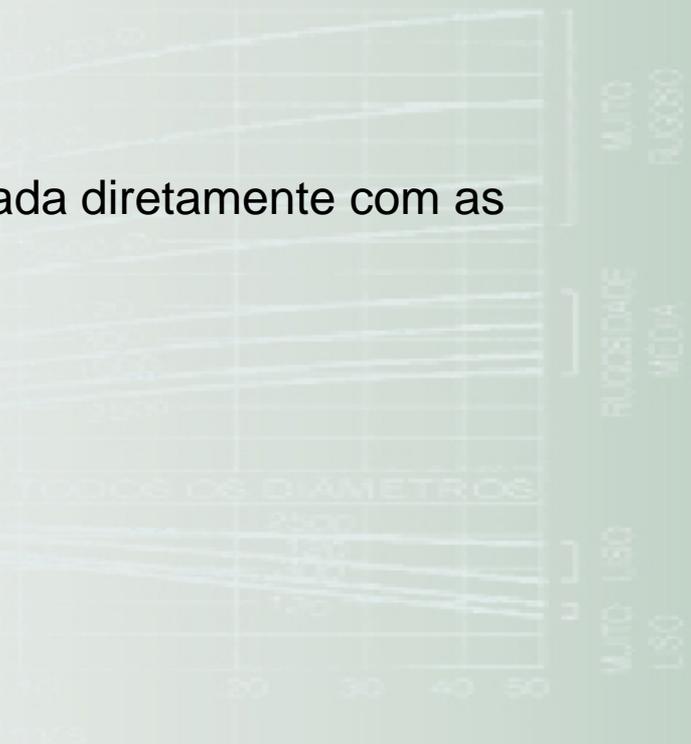
Volume Morto;

Nível Mínimo de Operação;

Nível Máximo de Operação;

Volume Útil;

Volume de Espera.



Reservatório:

- Disponibilidade
- Demanda



Figura 1 - Usina Hidrelétrica de Tucuruí – Rio Tocantins

# USINA HIDRELÉTRICA – Grandes Barragens



Uma “represa” é considerada uma grande barragem quando:

Critério – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens

1. Mais de 15 metros de altura, entre o ponto mais baixo de fundação até a crista;
2. Entre 10 e 15 m de altura, desde que atenda uma ou mais das seguintes características, a saber:
  - Mínimo de 500 m de comprimento de crista;
  - Mínimo de 100 mil metros cúbicos de água acumulada;
  - Acima de 2000 metros cúbicos de vazão por segundo;
  - Díficeis condições de fundação;
  - Barragem com projeto não convencional.

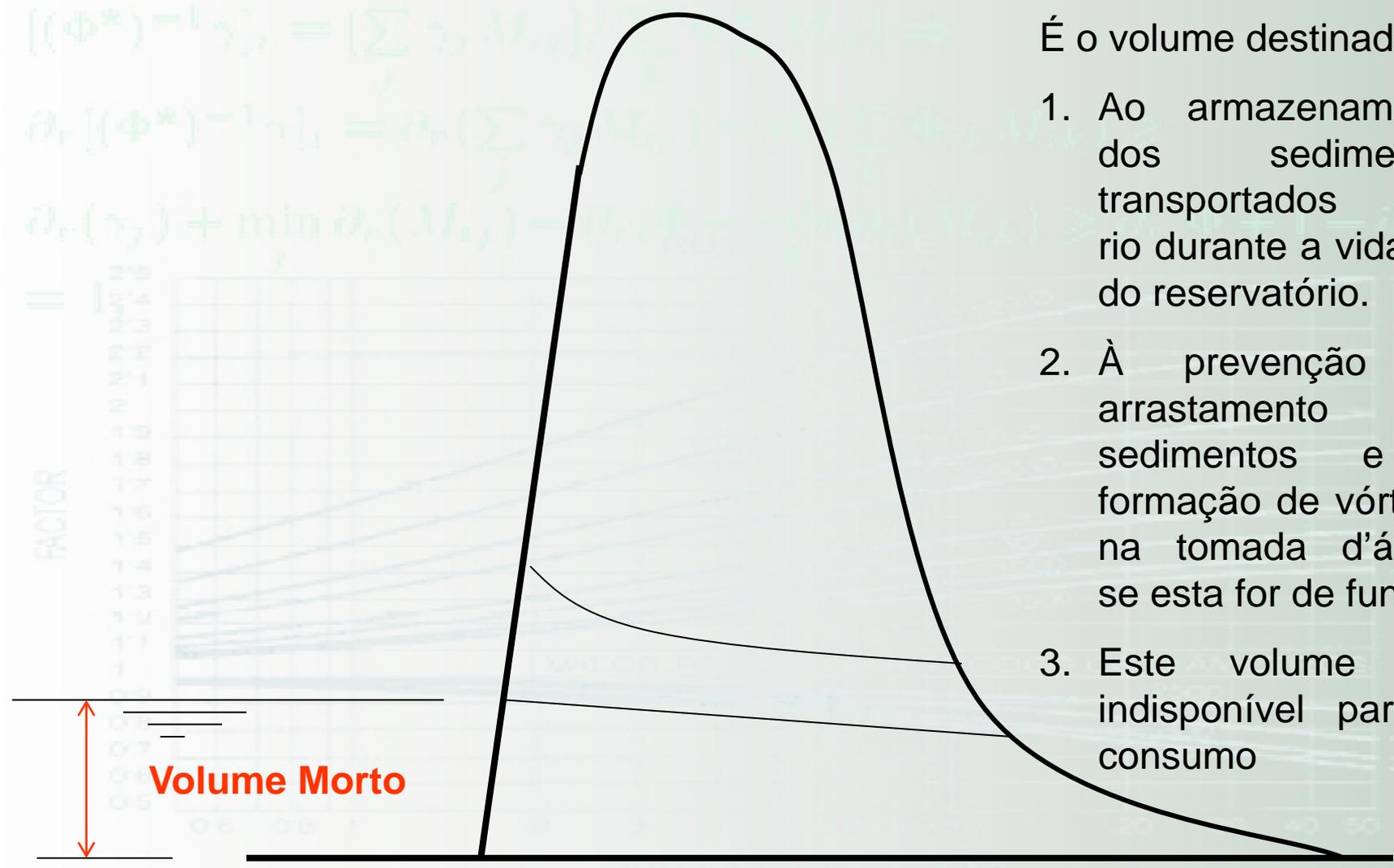


1. Maciço;
  2. Extravasores
    - Canal de Aproximação
    - Estrutura de Controle
    - Vertedores
      - Tulipa/Cálice (poço vertical + túnel horizontal)
      - Sifão Extravasor
      - Canal Lateral
      - Soleira (Creager) – Canal extravasor – água escoa sobre a crista do vertedor
      - Livre (Secção Retangular)
      - Comportas
    - Estrutura de Condução
    - Estrutura de Dissipação
      - Bacia de dissipação por ressalto hidráulico (estrutura grande – necessita de espaço)
      - Roller Bucket (compacta)
      - Salto Esqui (compacta)
      - Dissipador em degraus (macro rugosidades)
      - Extravasores
  4. Canal de Restituição
  5. Tomadas de Água
  6. Usina Hidrelétrica (Casa de Máquinas – Turbinas/Geradores)
  7. Órgãos de Transposição de Nível
  8. Passo Navegável
- Barragem é uma estrutura hidráulica executada em uma bacia hidrográfica, com a finalidade de possibilitar a utilização e/ou controle das águas drenadas até a seção onde é implantada.

### VOLUME MORTO

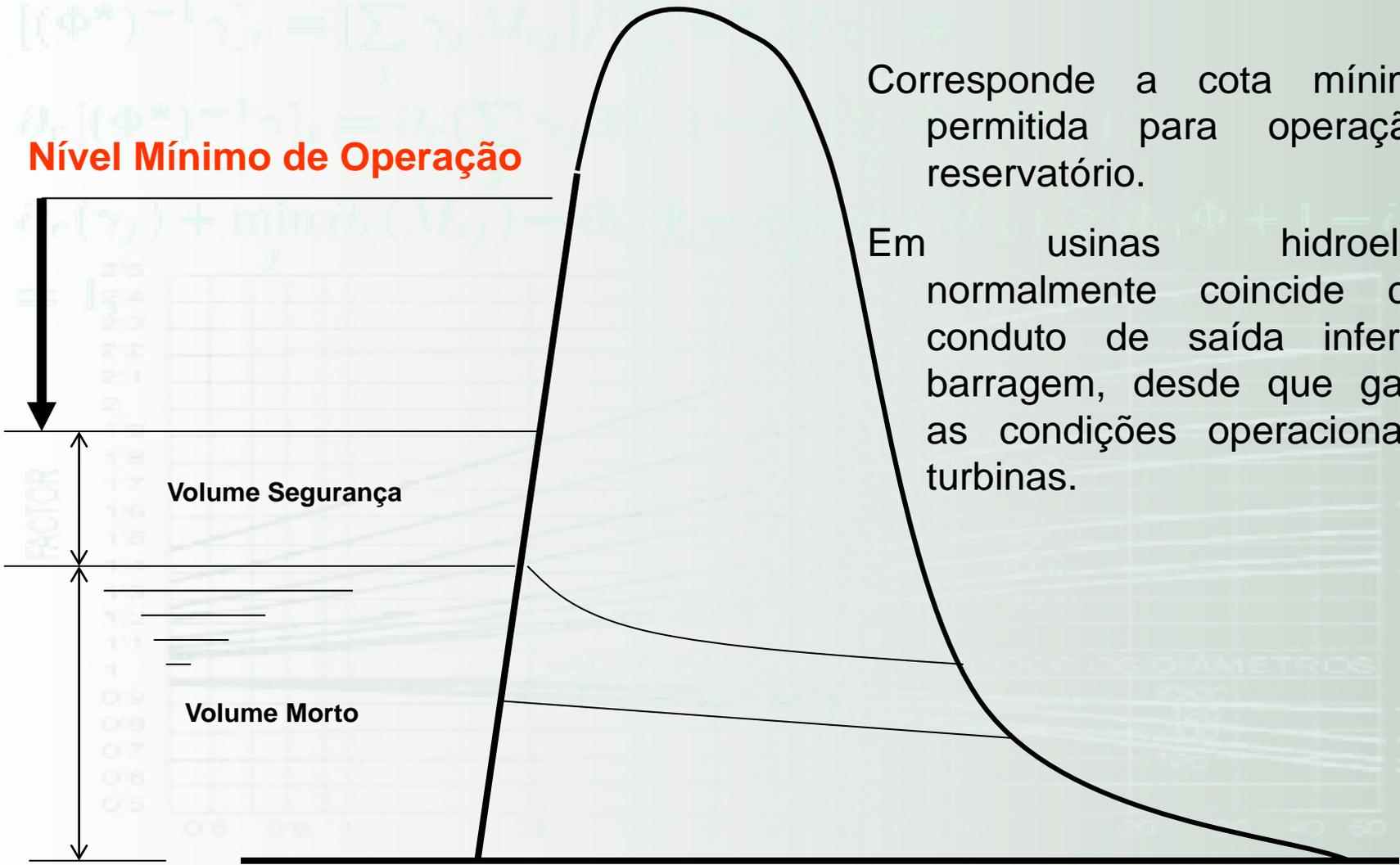
É o volume destinado:

1. Ao armazenamento dos sedimentos transportados pelo rio durante a vida útil do reservatório.
2. À prevenção de arrastamento de sedimentos e a formação de vórtices na tomada d'água, se esta for de fundo.
3. Este volume fica indisponível para o consumo



### VOLUME MÍNIMO DE OPERAÇÃO

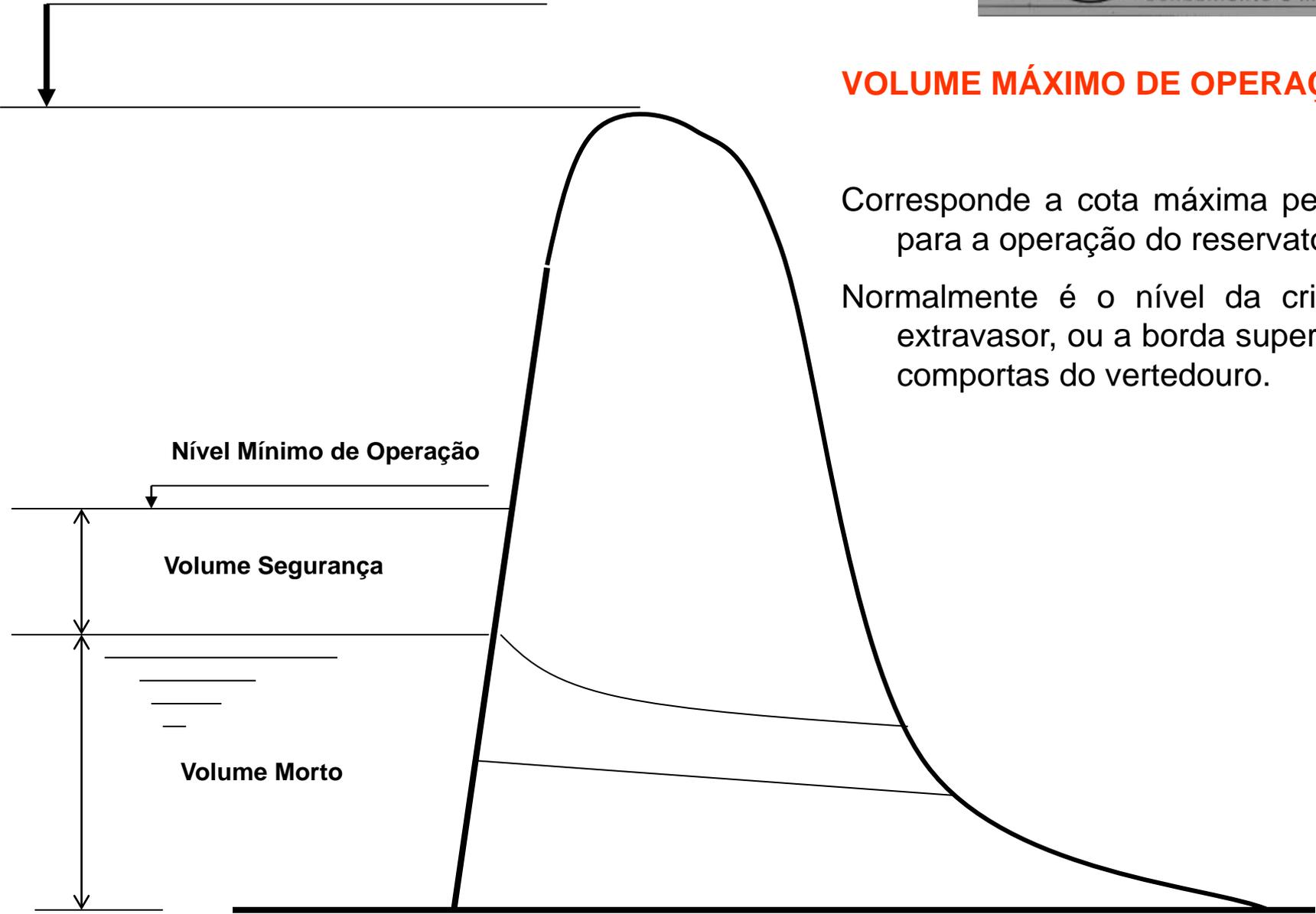
#### Nível Mínimo de Operação



Corresponde a cota mínima de permitida para operação do reservatório.

Em usinas hidroelétricas, normalmente coincide com o conduto de saída inferior da barragem, desde que garantam as condições operacionais das turbinas.

## Nível Máximo de Operação



## VOLUME MÁXIMO DE OPERAÇÃO

Corresponde a cota máxima permitida para a operação do reservatório.  
Normalmente é o nível da crista do extravasador, ou a borda superior das comportas do vertedouro.



Nível Máximo de Operação

**VOLUME ÚTIL**

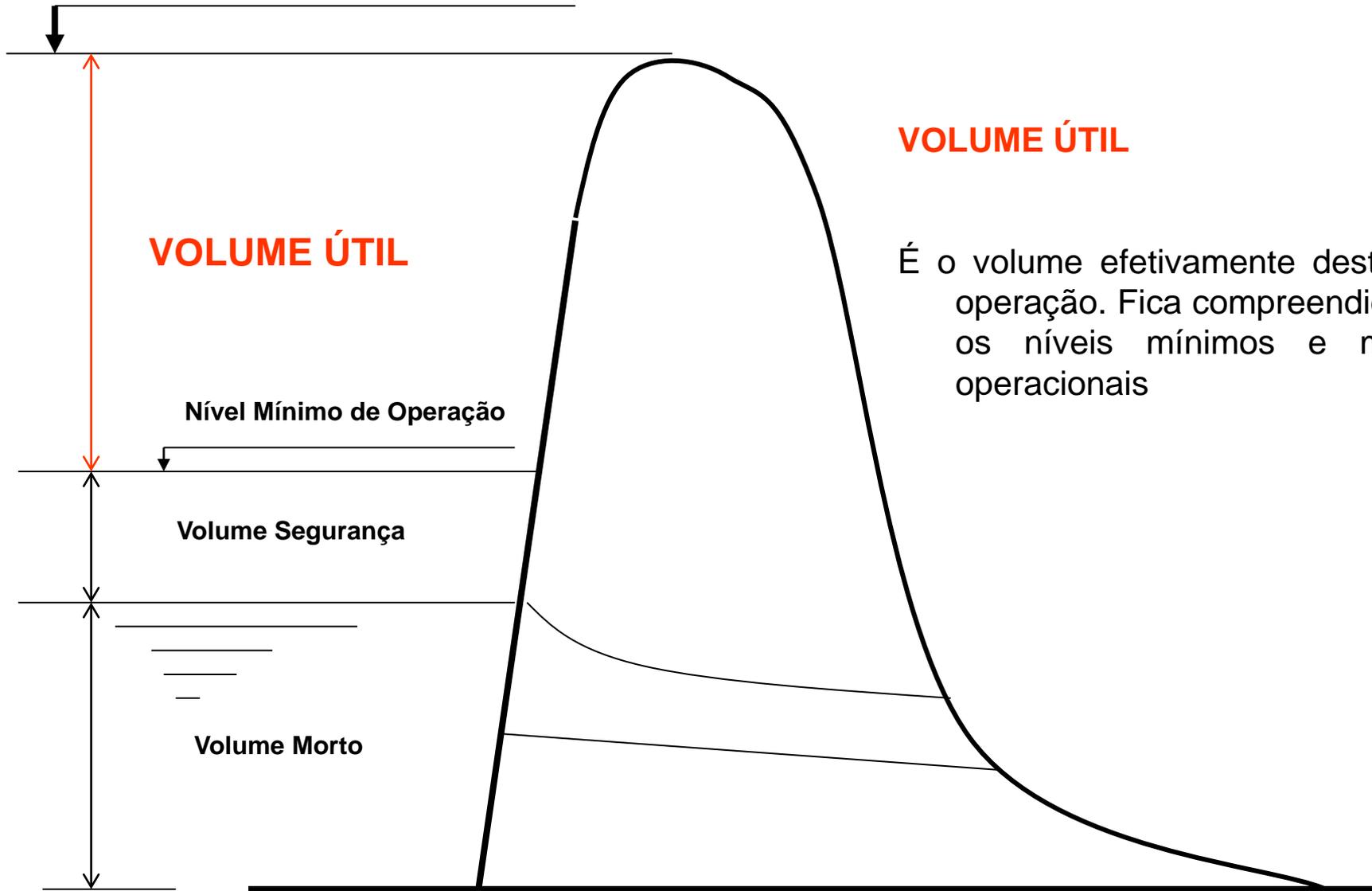
Nível Mínimo de Operação

Volume Segurança

Volume Morto

**VOLUME ÚTIL**

É o volume efetivamente destinado a operação. Fica compreendido entre os níveis mínimos e máximos operacionais



Nível Máximo de Operação

**VOLUME ÚTIL**

Nível Mínimo de Operação

Volume Segurança

Volume Morto

## **VOLUME ÚTIL**

Pode ser ultrapassado quando da passagem das ondas de enchente, pois há uma elevação do nível d'água acima do nível de operação máxima.

Em Usinas Hidrelétricas este aumento de “Carga Disponível” pode ser utilizado para a geração de energia. Contudo, nem sempre é possível aproveitar esta energia adicional, uma vez que o ponto de operação poderá situar-se além da faixa operacional das turbinas, podendo acarretar, inclusive, o desligamento das turbinas.

**NA máx. maximorum**

**VOLUME DE CONTROLE DAS CHEIAS**

Nível Máximo de Operação

VOLUME ÚTIL

Nível Mínimo de Operação

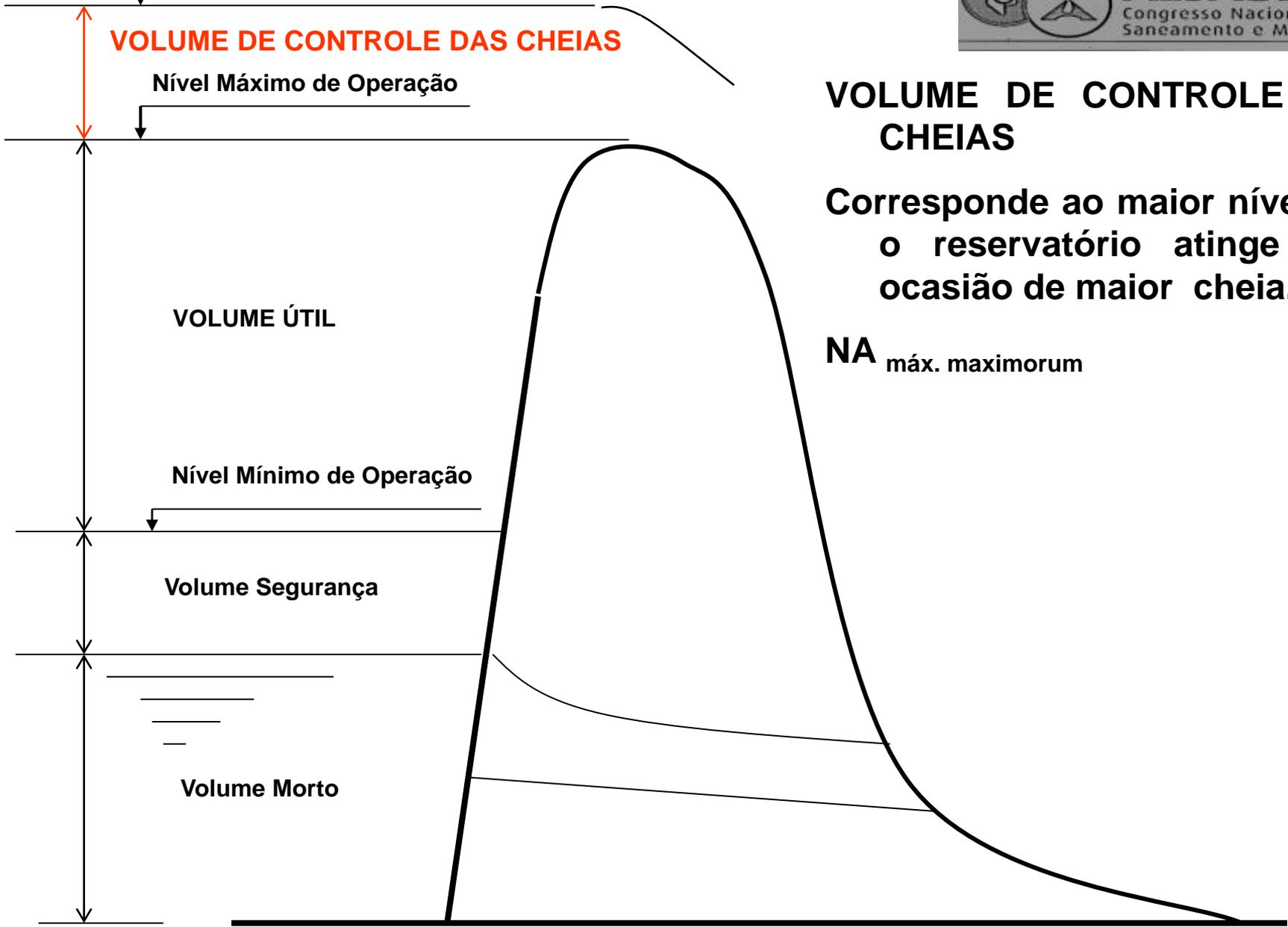
Volume Segurança

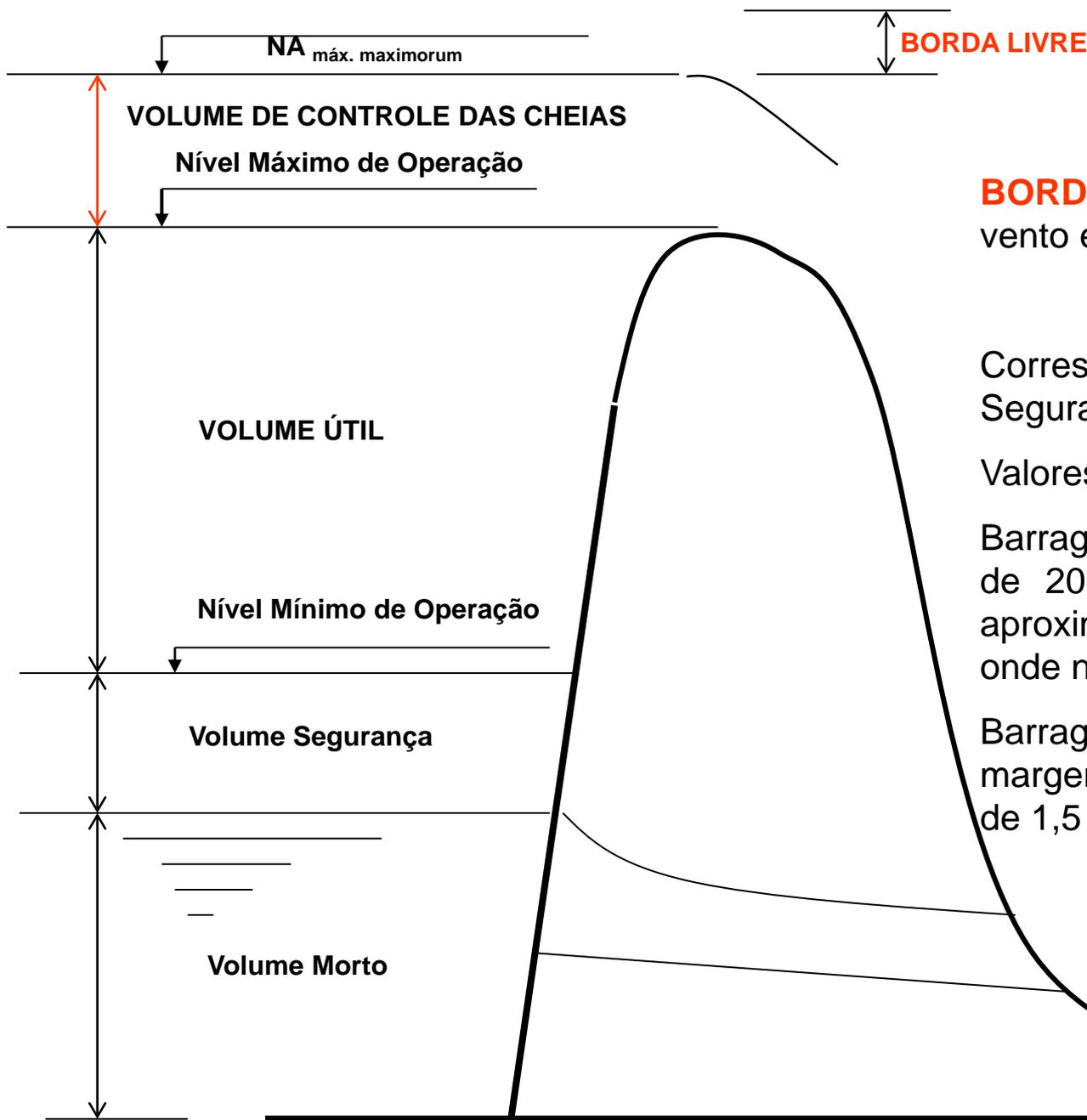
Volume Morto

## VOLUME DE CONTROLE DAS CHEIAS

Corresponde ao maior nível que o reservatório atinge na ocasião de maior cheia.

**NA** máx. maximorum





**BORDA LIVRE** – Devido a ação do vento e ondas.

Corresponde a uma Margem de Segurança.

Valores –

Barragens de Terra com uma altura de 20 a 25 m – Borda Livre – aproximadamente 10% da altura, onde não se admite galgamento.

Barragens de Concreto – essa margem poderá ser menor, cerca de 1,5 m.

# USINA HIDRELÉTRICA - Barragens

Usina (Empresa)	Área Alagada km <sup>2</sup>	Potência MW	Relação entre km <sup>2</sup> x MW	Volume (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Capacidade do Vertedouro (m <sup>3</sup> /s)	Sistema Hidrográfico
Sobradinho (Chesf)	4.214	1.050	4,01	34.100	22.850	São Francisco
Tucuruí (Eletronorte)	2.430	4.240	0,57	45.500	100.000	Tocantins
Porto Primavera	2.250	1.818	1,24	18.500	52.000	Paraná
Balbina (Eletronorte)	2.360	250	9,44	17.500	6.450	Uatumã
Serra da Mesa (Furnas)	1.784	1.200	1,49	55.200	15.000	Tocantins
Furnas (Furnas)	1.450	1.312	1,11	22.950	13.000	Grande
Itaipu (Itaipu)	1.350	12.600	0,11	29.000	61.400	Paraná
Ilha Solteira	1.077	3.230	0,33	21.166	40.000	Paraná
Três Marias (Cemig)	4.059	1.980	2,05	21.000	8.700	São Francisco

Represas com Reservatório superior a 1.000km<sup>2</sup>;

Fonte: Eletrobrás e CBGB

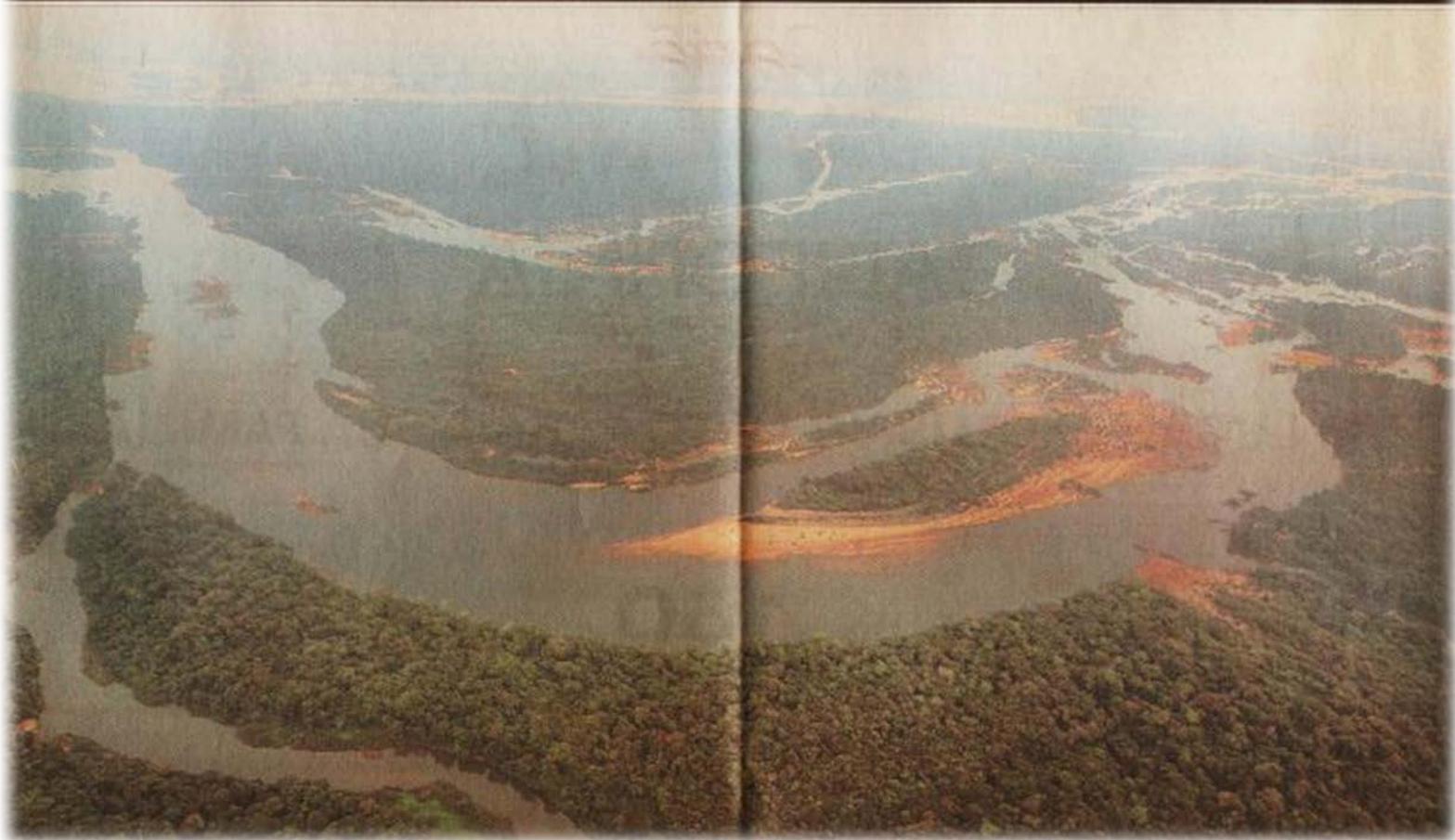
# USINA HIDRELÉTRICA - Barragens



XXIII Encontro Técnico  
**AESABESP**  
Congresso Nacional de  
Saneamento e Meio Ambiente

B8 | ECONOMIA | DOMINGO, 15 DE NOVEMBRO DE 2009  
O ESTADO DE S.PAULO

## POLÊMICA NO XINGU



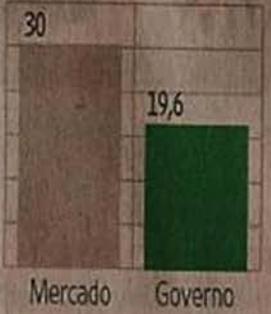
# USINA HIDRELÉTRICA - Barragens

## OS "NÓS" DA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE

Leilão da usina terá a participação de dois consórcios

**1 CUSTO**  
 Não se sabe ao certo quanto a obra custará. O governo fala em R\$ 19,6 bilhões; investidores estimam que os custos serão de até R\$ 30 bi

**ESTIMATIVA DE CUSTO**  
 Em R\$ bilhões



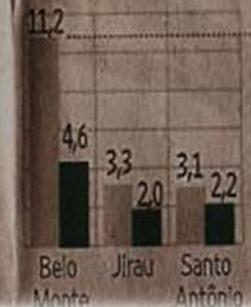
**2 IMPACTOS**  
 Há dúvidas sobre os impactos ambientais

**INUNDAÇÃO**  
 O projeto foi refeito para inundar um terço da área inicial (516 km²), graças ao uso do fio d'água (sem acúmulo de água)

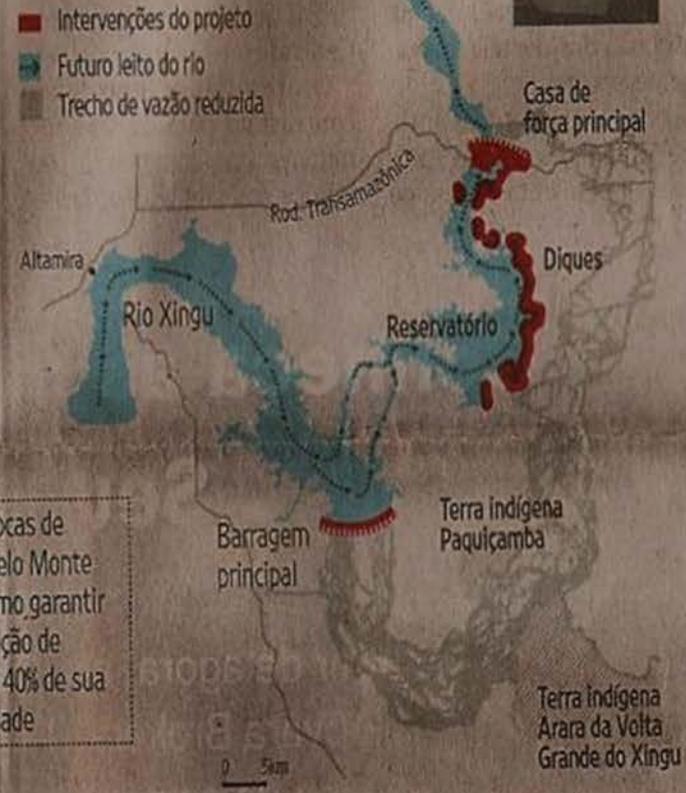
**RIO**  
 A diminuição da vazão pode afetar a pesca e a locomoção dos índios e ribeirinhos. Teme-se a redução em um trecho de 100 km de rio

**3 POTÊNCIA**  
 A capacidade de geração de energia a partir do potencial instalado é muito mais baixa do que a média das hidrelétricas

Capacidade instalada, em mil MW  
 Produção média, em mil MW médios



## COMO A USINA AFETARÁ O RIO





B4 | ECONOMIA | DOMINGO, 14 DE FEVEREIRO DE 2010  
O ESTADO DE S.PAULO

## ENERGIA

# ONGs vão tentar deter Belo Monte na Justiça

Grupos buscam saída após derrota com decisão do Ibama de liberar obra

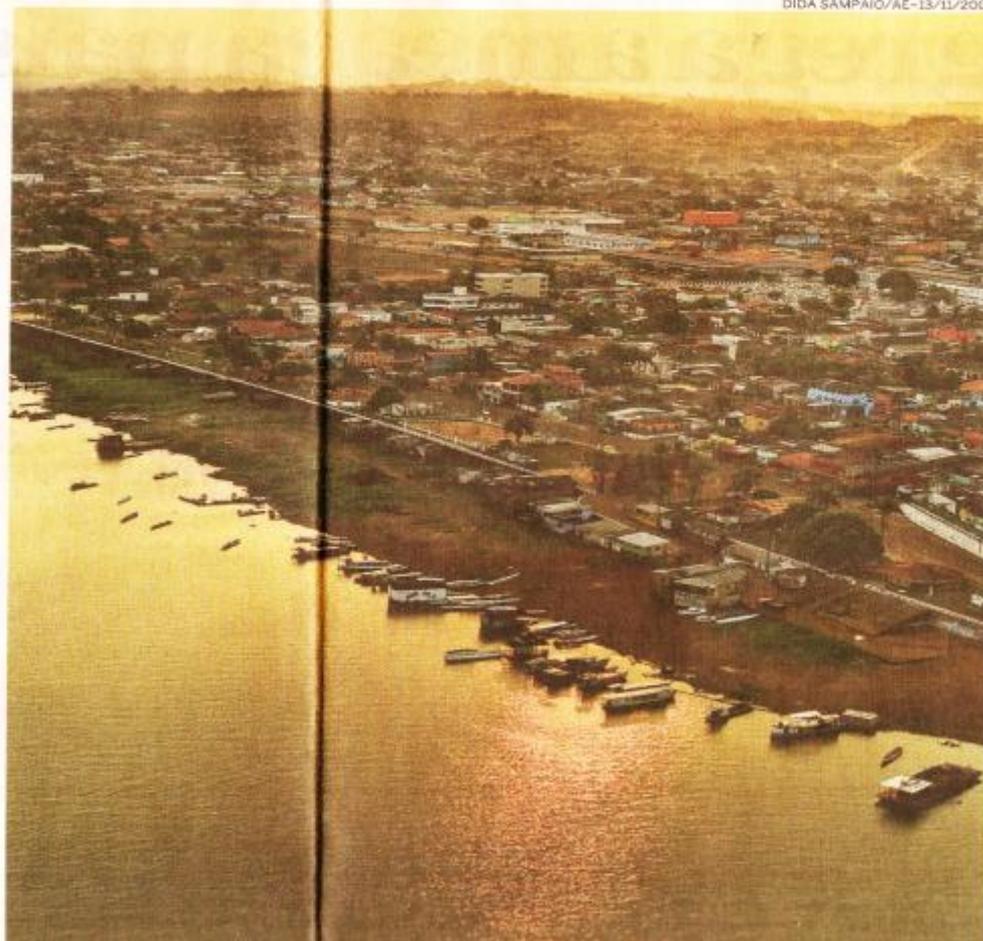
**Naiana Oscar**

Vinte anos depois de iniciarem os protestos contra a construção da Hidrelétrica de Belo Monte, no Rio Xingu (PA), movimentos sociais e de defesa do meio ambiente se organizam, individualmente, para entrar pela primeira vez na Justiça, como última tentativa de barrar as obras da terceira maior usina do mundo. Enfraquecidos depois que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) concedeu, há duas semanas, a primeira de três licenças ambientais, eles tentam se reestruturar.

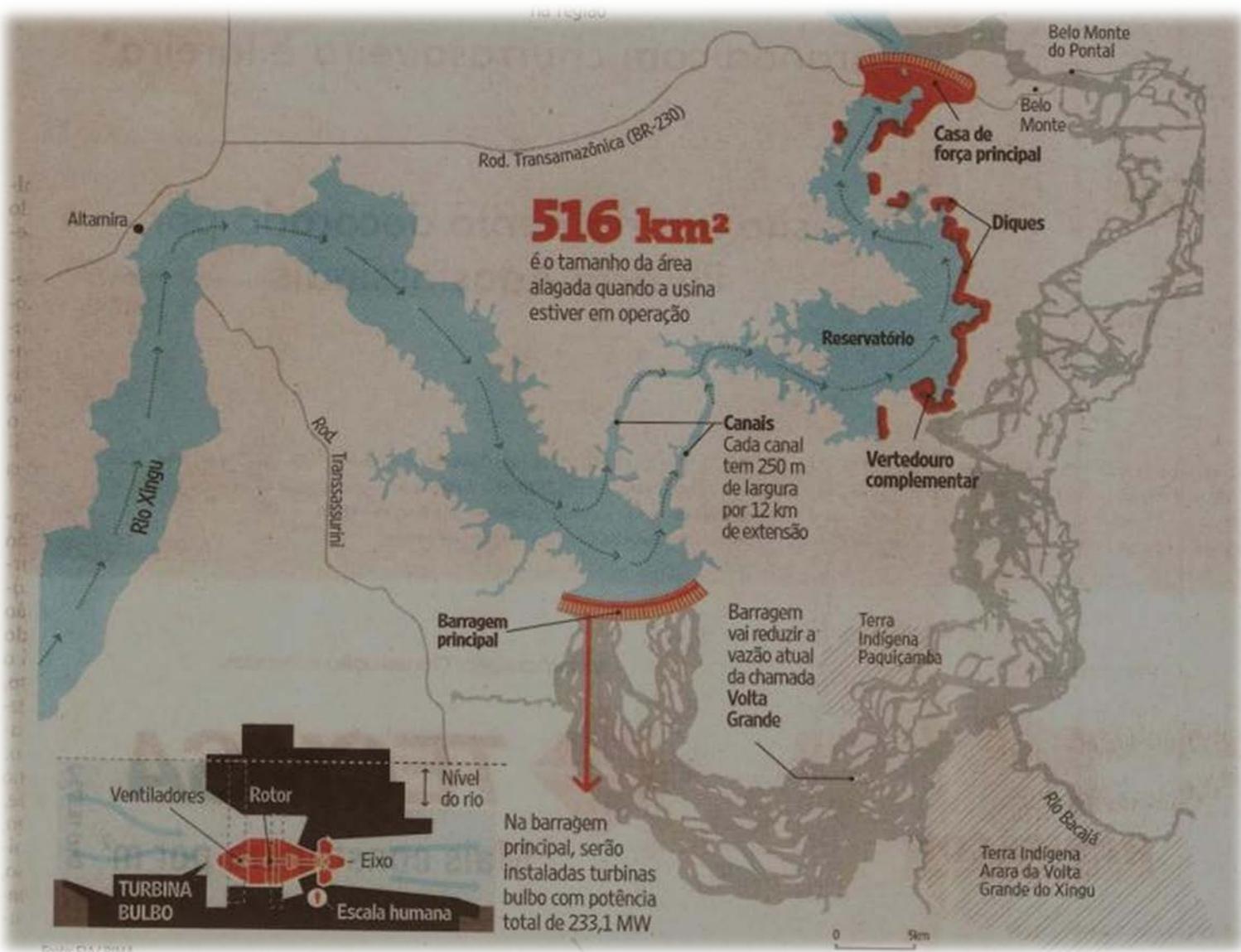
"Nossa esperança é tentar

por causa do prazo estipulado pela Presidência da República. O documento apontava também falhas no Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Naquela ocasião, segundo os próprios técnicos do Ibama, a análise não garantia a manutenção da biodiversidade, da navegabilidade e das condições de vida da população que vive na região.

Belo Monte será construída em três locais diferentes e vai atingir cinco municípios: Brasil Novo, Altamira, Vitória do Xingu, Senador José Porfírio e Anapu. No total, a barragem vai alagar 516 quilômetros quadrados, bem abaixo dos 1.200 km<sup>2</sup> previstos no projeto original da década de 80. Para atenuar os im-



# USINA HIDRELÉTRICA - Barragens



# USINA HIDRELÉTRICA - Barragens





## DIMENSÕES DE BELO MONTE

### As usinas em números

■ Três Gargantas (China) ■ Itaipu (Brasil) ■ Belo Monte (Brasil)

**POTÊNCIA  
INSTALADA,  
em MW**



**PRODUÇÃO ANUAL  
DE ENERGIA, em MWh**



O reservatório de  
Belo Monte será

**4,7  
vezes**

maior que a represa Billings, maior  
espelho d'água da Grande São Paulo

Fonte: EIA/ RIMA e mercado

# USINA HIDRELÉTRICA - Barragens



XXIII Encontro Técnico  
**AESABESP**  
Congresso Nacional de  
Saneamento e Meio Ambiente



# USINA HIDRELÉTRICA - Barragens



Figura – Usina Hidrelétrica de Balbina – Formação do reservatório com inundação de uma área de floresta.

Fonte: Arquivo próprio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os prejuízos ambientais e sociais podem ser evitados com programas de mitigação, que compreendem: relocação de infraestrutura, relocação de propriedades e povoados, mitigação da previsão sobre o mercado de trabalho, riscos à saúde, atividade mineraria, desmatamento, recuperação do canteiro de obras, recuperação de ecossistemas, manejo da fauna: terrestre (mamíferos) e aquáticos (peixes), manejo das bacias hidrográficas: uso desordenado das bacias, assoreamento, atividades agrícolas, etc., conservação da energia; e medidas compensatórias, que compreendem: implantação de áreas de conservação, projetos de desenvolvimento sustentável e programas decentes de benefícios para a população afetada.

*O maior impacto de uma usina hidrelétrica independe do tamanho do reservatório, ele vem do desmatamento e dos conflitos gerados pela chegada de milhares de pessoas atraídas pelas obras. O polo de devastação ilegal é o entorno das obras da usina hidrelétrica.*

## CONCLUSÃO

O plano decenal da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), órgão do Ministério de Minas e Energia, que planeja a expansão do sistema, indica que das 47 novas usinas hidrelétrica (*Rio Madeira*: Jirau, Santo Antônio; *Rio Ji-Paraná*: Tabajara; *Rio Comemoração*: Rondon II; *Rio Aripuanã*: Dardanelos; *Rio Jari*: Santo Antônio do Jari; *Rio Araguaia*: Cachoeira Caldeirão, Ferreira Gomes; *Rio Xingu*: Belo Monte; *Rio Tapajós*: São Luiz do Tapajós, Jatobá, Chacorão; *Rio Jamanxim*: Cachoeira do Cai, Jamanxim, Jarim Ouro; *Rio Juruena*: São Simão Alto, Salto Augusto Baixo, Cachoeirão, Juruema; *Rio Teles Pires*: São Manoel, Teles Pires, Colider, Sinop, Magessi. *Rio Tocantins*: Marabá, Serra Quebrada, Estreito, Tupiratins, Tocantins (Ipueiras), Porteiras, Maranhão Baixo; *Rio Tocantinzinho*: Mirador; *Rio Paranã*: Paranã, São Domingos; *Rio do Sono*: Novo Acordo, Brejão; *Rio Perdida*: Perdida; *Rio Araguaia*: Araganã, Torixoréu, Diamantino, Couto Magalhães; Rio das Mortes: Toricoejo, Água Limpa) na região norte, onde se encontra o maior potencial inexplorado do Brasil, e desse total, 30 usinas hidrelétricas não terão barragens.

*O resultado disso é a perda/redução na capacidade de armazenar/gerar energia. O cenário que se descortina para uma nação que até 2015 será a 5ª Potência Econômica do planeta não é dos mais promissores, pois nos anos 70 a água armazenada nos reservatórios das usinas hidrelétricas assegurava mais de 20 meses de energia, mesmo sem uma gota de chuva; no presente o armazenamento aguenta cerca de 5 meses, e a previsão para o futuro, isto é, 2019 é de apenas 3,5 meses.*

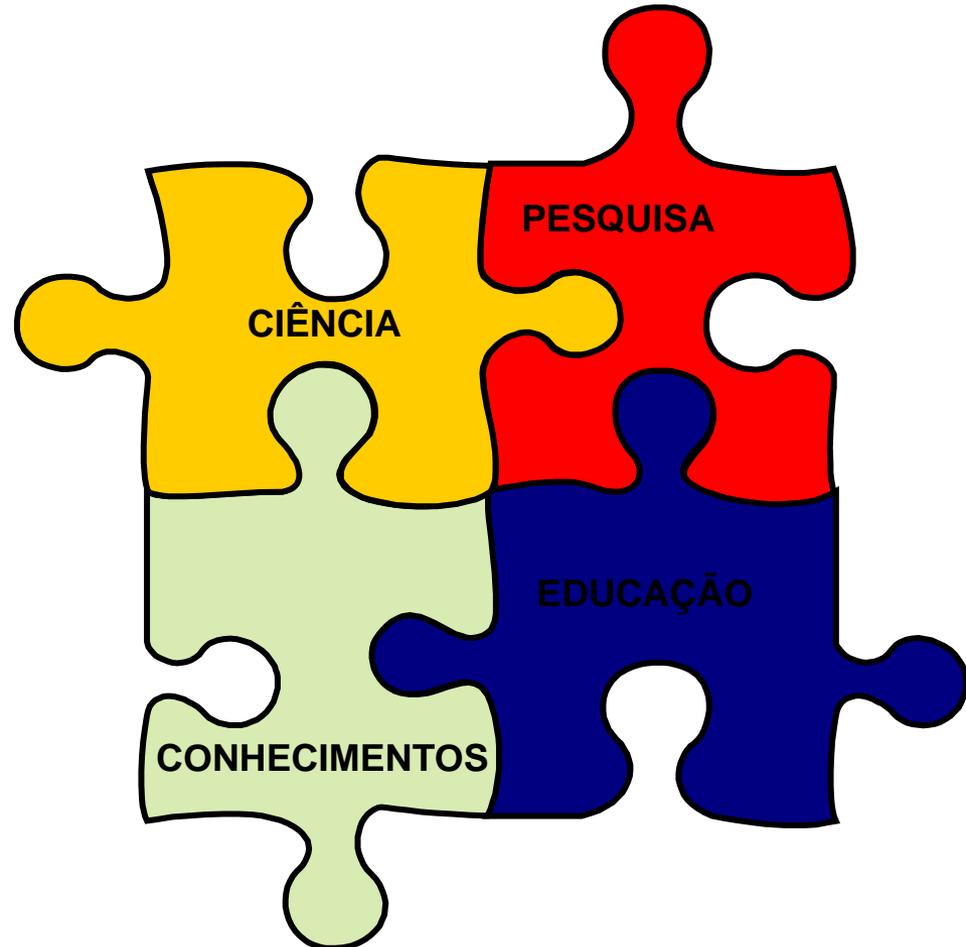
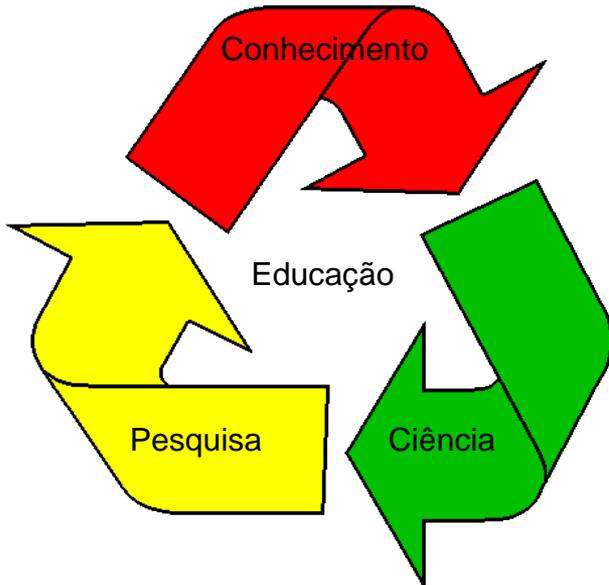
## RECOMENDAÇÕES

Torna-se relevante destacar no encerramento desse trabalho que apenas 50% da Amazônia foi prospectada geologicamente. Até o momento, pelo que se tem conhecimento, somos a sexta maior reserva de urânio do planeta. No caso da hidroeletricidade estamos aproveitando somente 1/3 dos 260 mil MW, estimados no país. A hidroeletricidade é a fonte que apresenta maior eficiência a conversão da energia (potencial) d' água em eletricidade, sendo superior a 90%. Na outras fontes, a que avança mais, chega a pouco mais de 40%, as turbinas a gás. As usinas térmicas também se incluem nesse leque, porém apresentam limitações, poluem.

A decisão de se construir novas usinas hidrelétricas com pequenos reservatórios, ou até mesmo sem reservatório, necessita ser repensada, pois a projeção econômica e tecnológica da nação está diretamente vinculada a sua quantidade de energia armazenada.



# MUITO AGRADECIDO !



Prof. Dr. Pedro José da Silva

[p-jose-silva@uol.com.br](mailto:p-jose-silva@uol.com.br)