**Universidade Federal do Maranhão - UFMA**

**Instituto de Energia Elétrica**

Núcleo de Energias alternativas

# Energia Maré-motriz: Alternativa para o Bairro Verde

Dr. Osvaldo R. Saavedra
NEA – IEE - UFMA

15 de outubro de 2009

# Energia das Marés

As energias solar, eólica, hidráulica e do mar são fontes alternativas que têm como características o fato de serem renováveis e limpas, ou seja, não se esgotam e não produzem resíduos ou emissões ao ambiente.

Os recursos energéticos dos oceanos são comprovadamente fontes viáveis de exploração.

A energia das marés é originada a partir dos campos gravitacionais da lua e do sol e tem um potencial mundial estimado em **3 TW**.

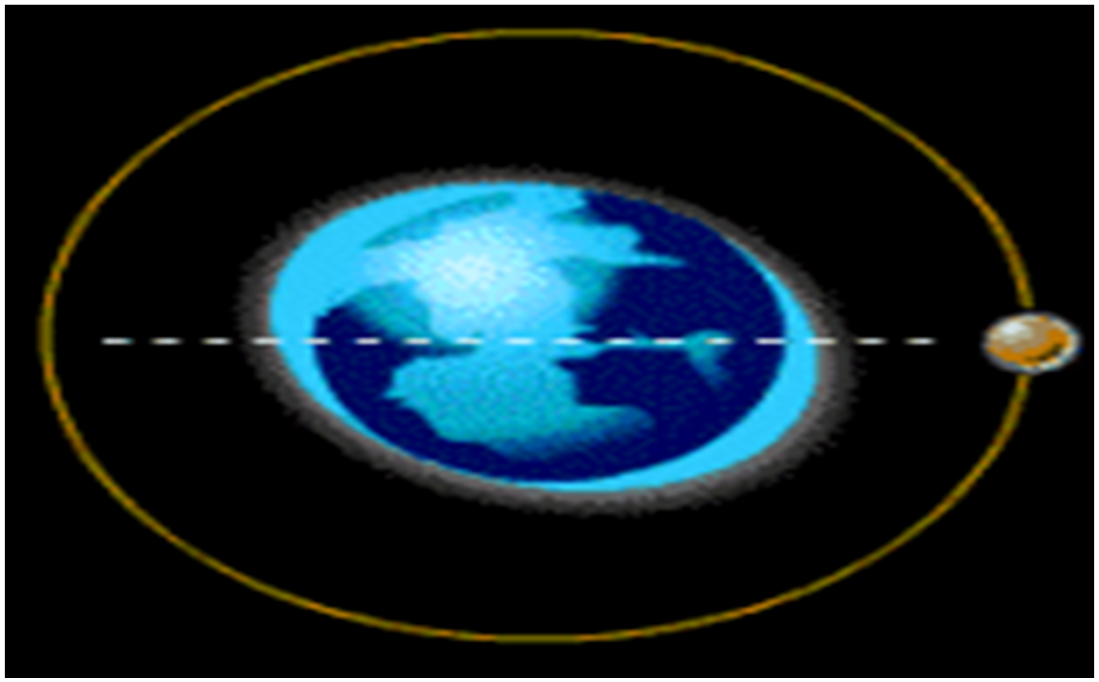
# Energia das Marés

Cada período completo da maré é chamado de *ciclo*, e num ciclo a maré apresenta *fases*.

A subida da água é chamada de *enchente* e a descida é chamada de *vazante*.

O nível máximo no ciclo é chamado de *preamar* e o nível mínimo de *baixamar*.

# Energia das Marés



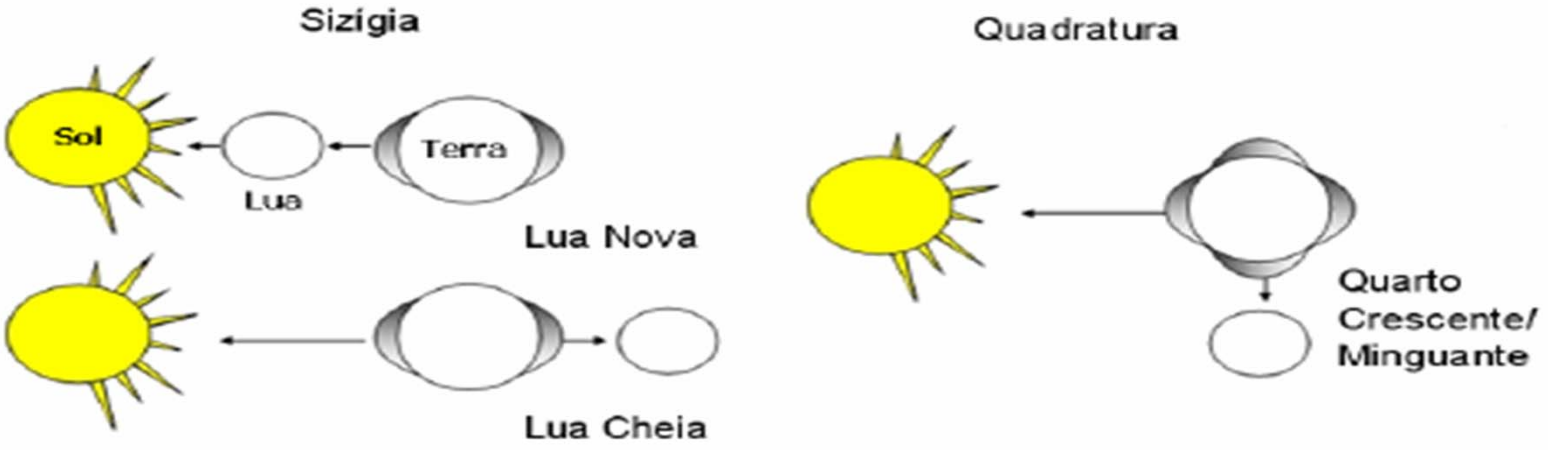
# Energia das Marés

- A posição relativa entre sol, lua e Terra interfere na intensidade da maré.

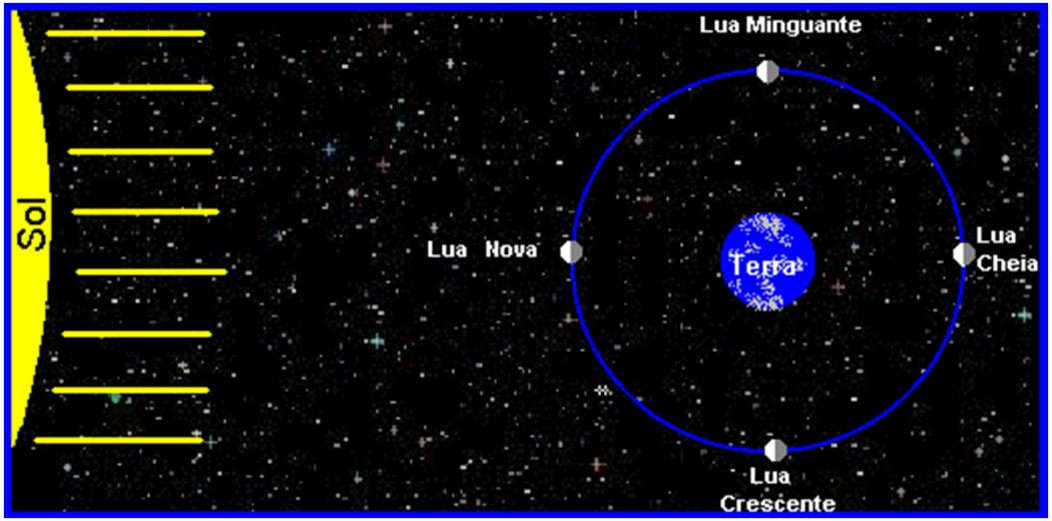
- Quando a lua está alinhada com o sol, os efeitos de força gravitacional se somam, causando maiores amplitudes de maré, sendo chamada de maré de sizígia.

- Quando o sistema lua-Terra-sol faz um ângulo reto, as suas forças gravitacionais se subtraem, reduzindo o efeito da maré, esta é chamada maré de quadratura.

# Energia das Marés



# Energia das Marés



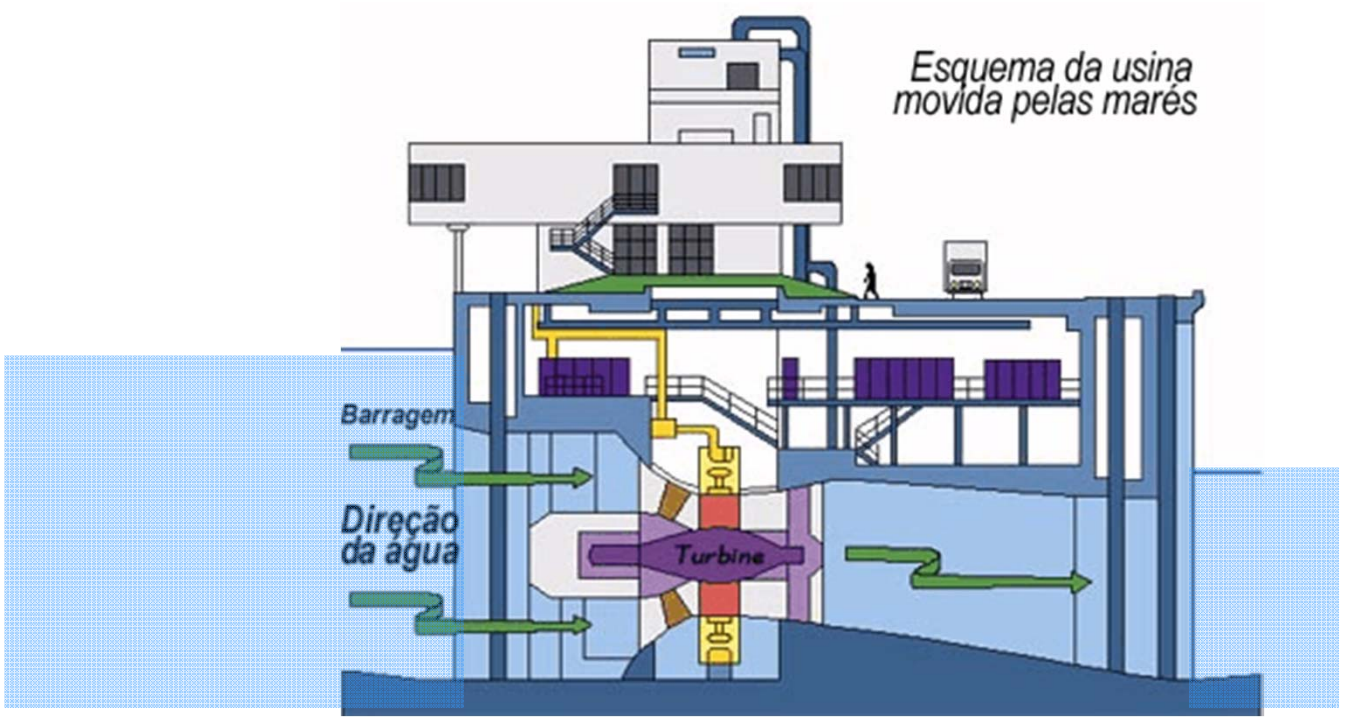
# Energia das Maré-Motriz

# Potencial maré-motriz

Os principais locais apropriados para o aproveitamento da energia das marés:

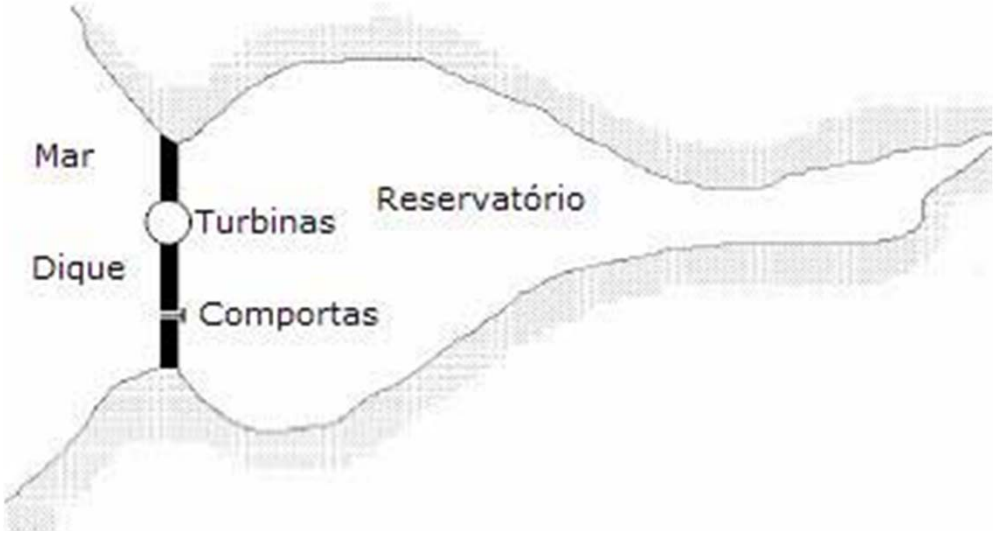
# Energia das Marés

A energia das marés é proveniente da variação de amplitude entre preamar e baixa-mar.



# Energia das Marés

As usinas maré-motrizes podem ter funcionamento de efeitos simples ou duplo, isto é, geração de eletricidade só na maré enchente ou vazante ou em ambas, aumentando a produção.



# Energia Máxima Aproveitável

Energia máxima aproveitada

$$E_{max} = \eta \rho g R^2 S$$

Onde: $\eta$ = eficiência de conversão da energia mecânica em eletricidade

$\rho$ = densidade da água do mar

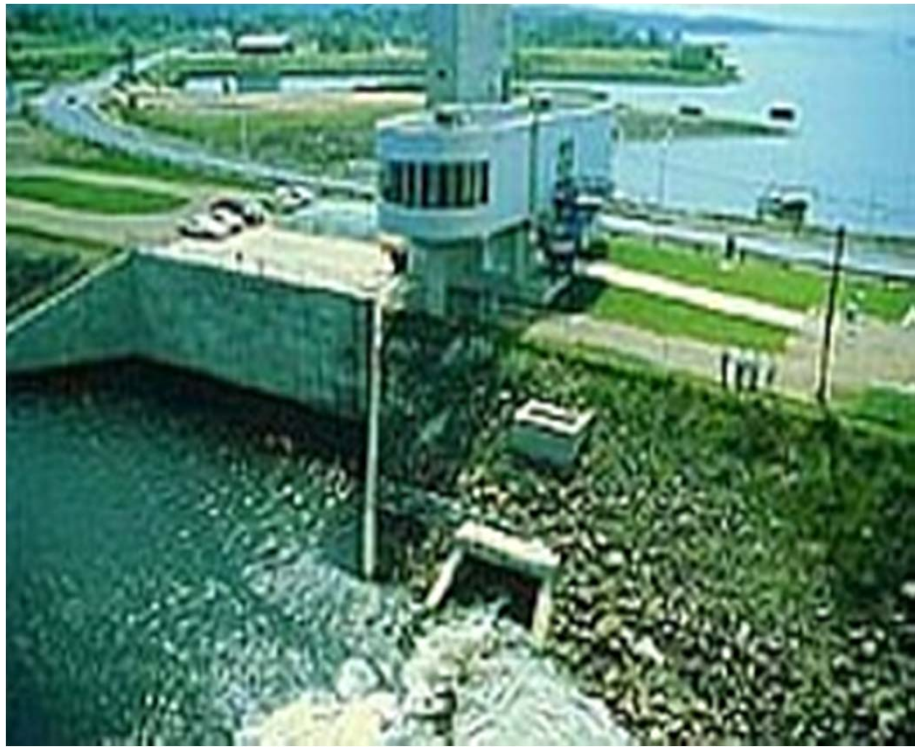
g = aceleração gravitacional

R = altura da maré

S = área total da baia

# Usina maremotriz La Rance, França – 240MW

# Usina maremotriz de Annapolis Royal, Canadá – 20MW



# Histórico

# Projeto Maré-motriz do Bacanga

# Histórico

**Projeto Maré-motriz do Bacanga**

A idéia original da implantação de uma usina de maré-motriz era utilizar a **estrutura hidráulica da comporta** para implantação de um gerador em pelo menos um dos vãos.

**Potência de Geração Estimadas:**

•*Alternativa 1:* uso de 6 turbo-geradores bulbo de 4500 kW funcionando em modo simples efeito (geração de 56300 MWh/ano);

•*Alternativa 2:* três grupos periféricos de 11340 kW em simples efeito (geração de 59600 MWh/ano)

# Histórico

**Motivos que inviabilizaram a execução do projeto**

• Utilização do vão central das comportas com um gerador - potência máxima pouco superior a **5MW;**

• Gerador de 7MW - 5,0m diâmetro que implica em uma cota de fundação da ordem de **-8,00m;**

• As escavações necessárias para atingir esta cota comprometeriam a estabilidade do restante da obra;

# Histórico

**Motivos que inviabilizaram a execução do projeto**

• O arranjo da entrada e saída do gerador tipo bulbo, pontes rolantes e acessórios necessários eram incompatíveis com o atual esquema da obra do vertedor;

• A instalação de um gerador bulbo, causaria solicitações para as quais as fundações da obra existente não foram dimensionadas

# Histórico - Motivos que inviabilizaram a execução do projeto

**Ocupação urbana do reservatório**

• Problemas associados a ocupação urbana que ocorram devido ao nível de água do reservatório, ser mantido na cota **+2,50m (1973)**;

• No processo de ocupação, desenvolveram-se os bairros do **Coroado e Coroadinho**, situados em terrenos mais baixos que a avenida;

• **Janeiro de 1980 já comportava uma população superior a 20 mil habitantes.**

# Histórico - Motivos que inviabilizaram a execução do projeto

•Inadequada operação das comportas provocou ao longo dos anos solicitações estruturais não previstas no projeto;

•Falta de conservação dos equipamentos;

• Após o acidente a Barragem continuou sendo operada de modo distinto do projetado;

• O enchimento do reservatório realizado descontroladamente;

• Sérios riscos para a integridade de suas estruturas e para a população residente na área do reservatório.

# Conseqüências

- Abandono da cota +5,80m;

- Loteamento das terras que anteriormente seriam alagadas;

- Construção de bairros residenciais situados entre as cotas **+2,50m e +3,0m.**

- Imposição de novo cota de manutenção do nível d'água dentro do estuário, cota **+2,0m**.

- Modificação do regime operacional previsto para as comportas;

- As comportas passaram a receber empuxos hidráulicos no sentido Mar-Bacanga, invertendo as disposições do projeto.

Frente a este panorama .....

Por que uma Usina no Bacanga ?

# Por que uma Usina no Bacanga ?

- Gerar eletricidade para o suprimento de, aproximadamente, 800 domicílios, no horário de pico, ou a demanda do campus universitário do Bacanga, pertencente à Universidade Federal do Maranhão;

- Configurar-se como usina piloto para o desenvolvimento de tecnologia e recursos humanos em projetos que utilizem as marés como fonte de energia;

# Por que uma Usina no Bacanga ?

- Impor um novo regime de operação à barragem, contribuindo para o bom funcionamento do escoamento fluvial;

- Melhorar a qualidade ambiental do reservatório, através do processo de renovação da água, ocasionando impacto positivo no ecossistema do estuário;

- Harmonizar a implantação da usina maremotriz aos demais usos do rio Bacanga, no contexto do uso múltiplo de reservatórios;

# Por que uma Usina no Bacanga ?

- Provocar a revitalização da área, através da recuperação ambiental e paisagística, transformando-a em atrativo turístico que resultaria na inserção da população local, criação de empregos e geração de renda.

- Conciliar a necessidade de intervenção para recuperação da barragem com as alterações necessárias para suportar a Usina: redução de custos

- Primeira usina desta natureza em América do Sul.

# Concepção Proposta

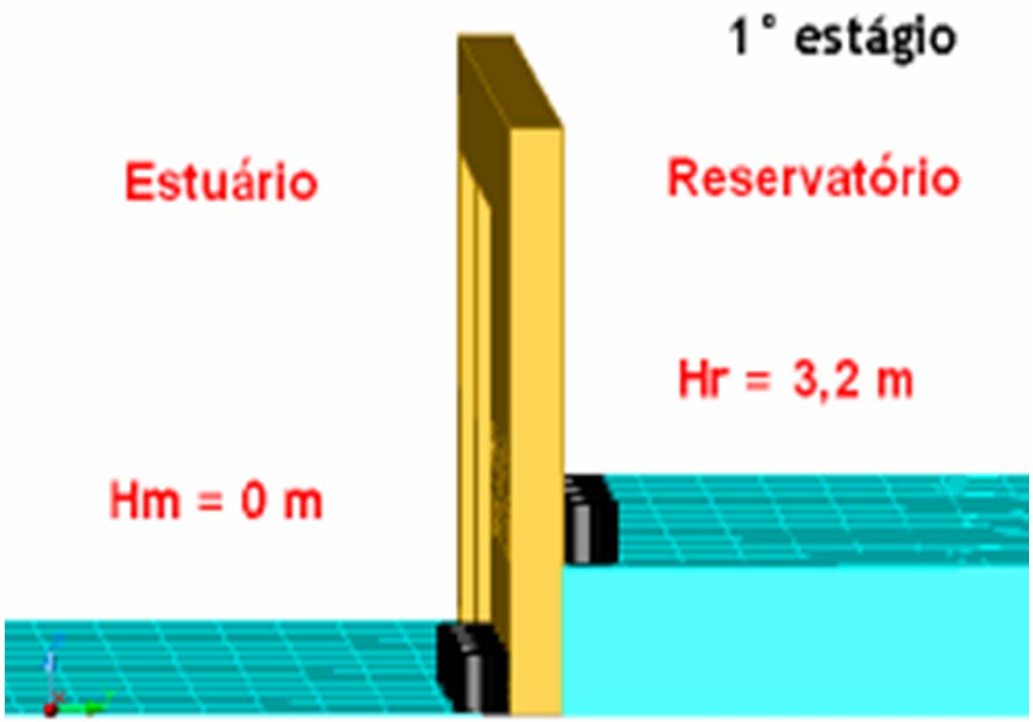
- Controle do nível do reservatório, devido a ocupação e atividades existentes no estuário;

- Geração em double-effect, maré vazante e enchente, o que permite maior flexibilidade de operação e continuidade na geração da energia.

# Operação

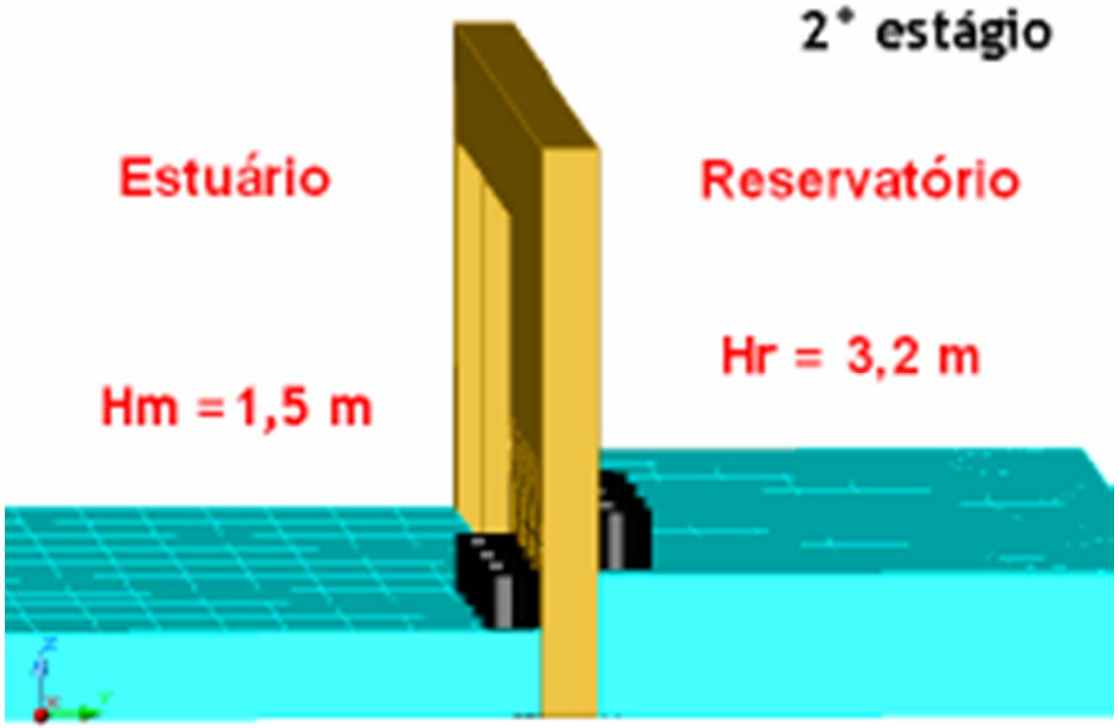
# Primeiro Estágio

Acontece quando o mar está no seu nível mínimo (baixamar) e o reservatório está numa cota superior, quando a geração se dá aduzindo água para a turbina fixa no sentido reservatório-mar



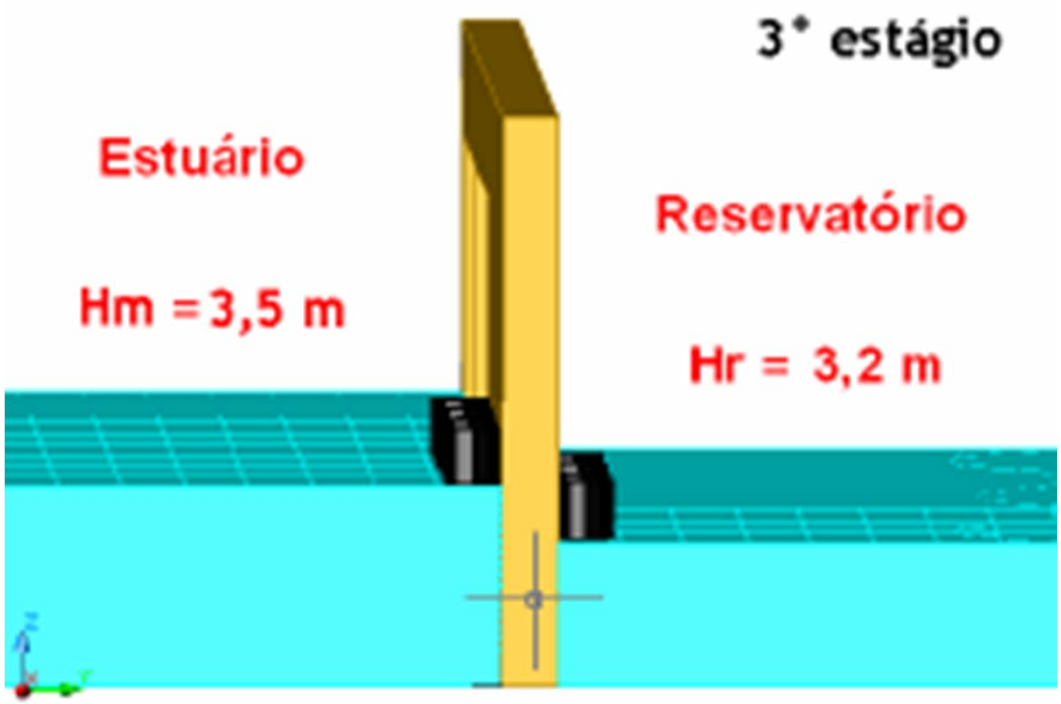
# Segundo Estágio

Acontece quando a diferença de cota entre o nível do mar e o reservatório é inferior àquela admitida pela turbina, não havendo neste estágio geração de energia.



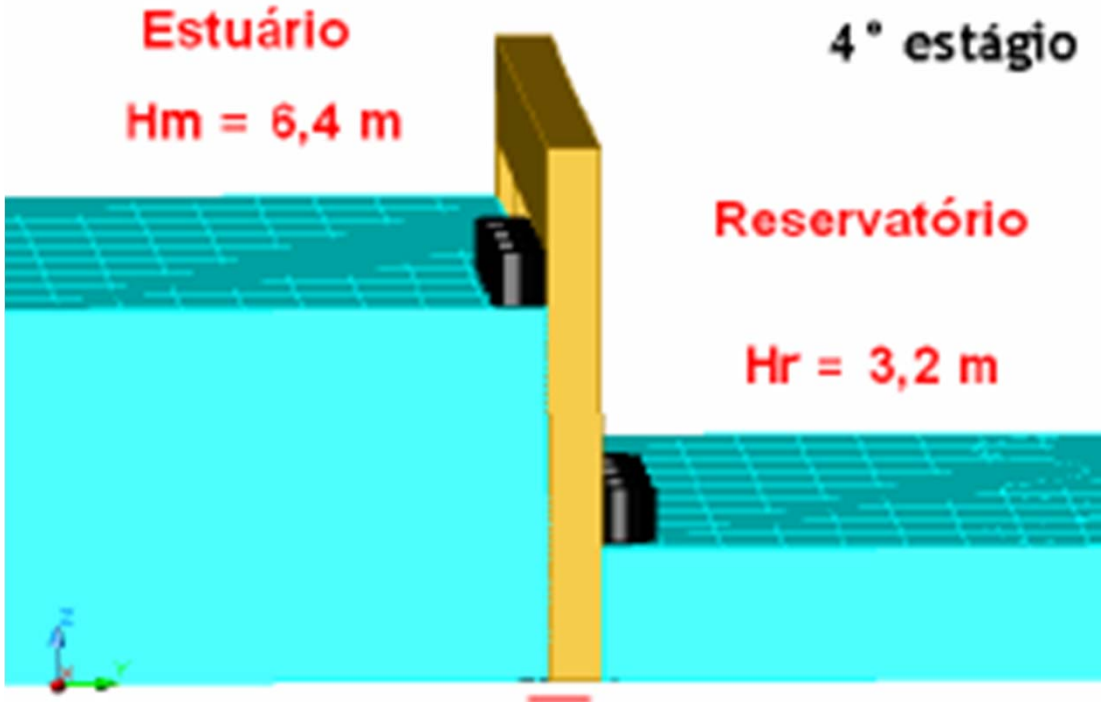
# Terceiro Estágio

A diferença entre o nível do mar (preamar) e a cota do reservatório possibilita a geração de energia, e esta se dá no sentido mar-reservatório através da turbina móvel.



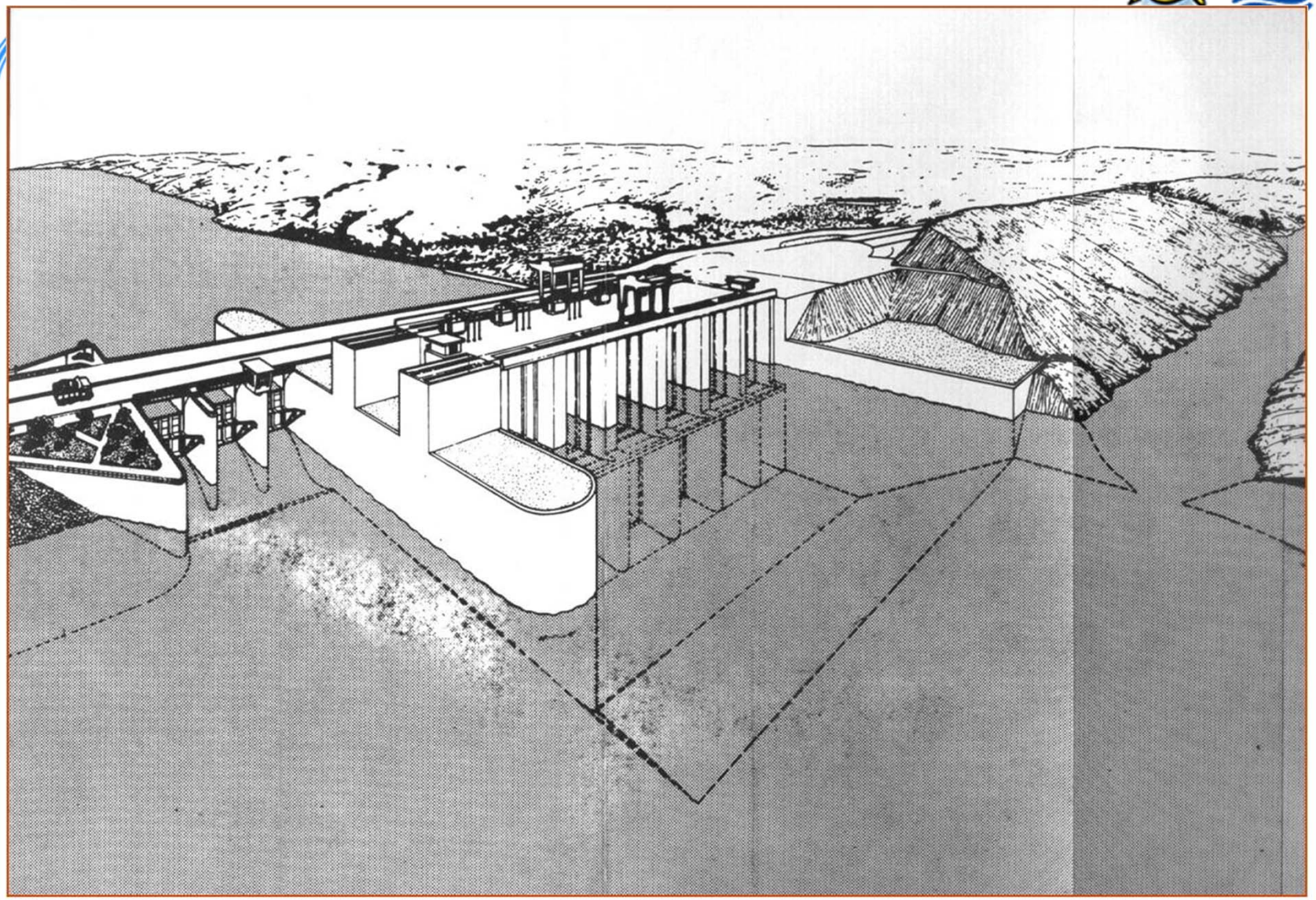
# Quarto Estágio

O nível do mar é máximo (preamar) e a turbina móvel alcança a sua posição final, a geração continua se dando no sentido mar-reservatório.

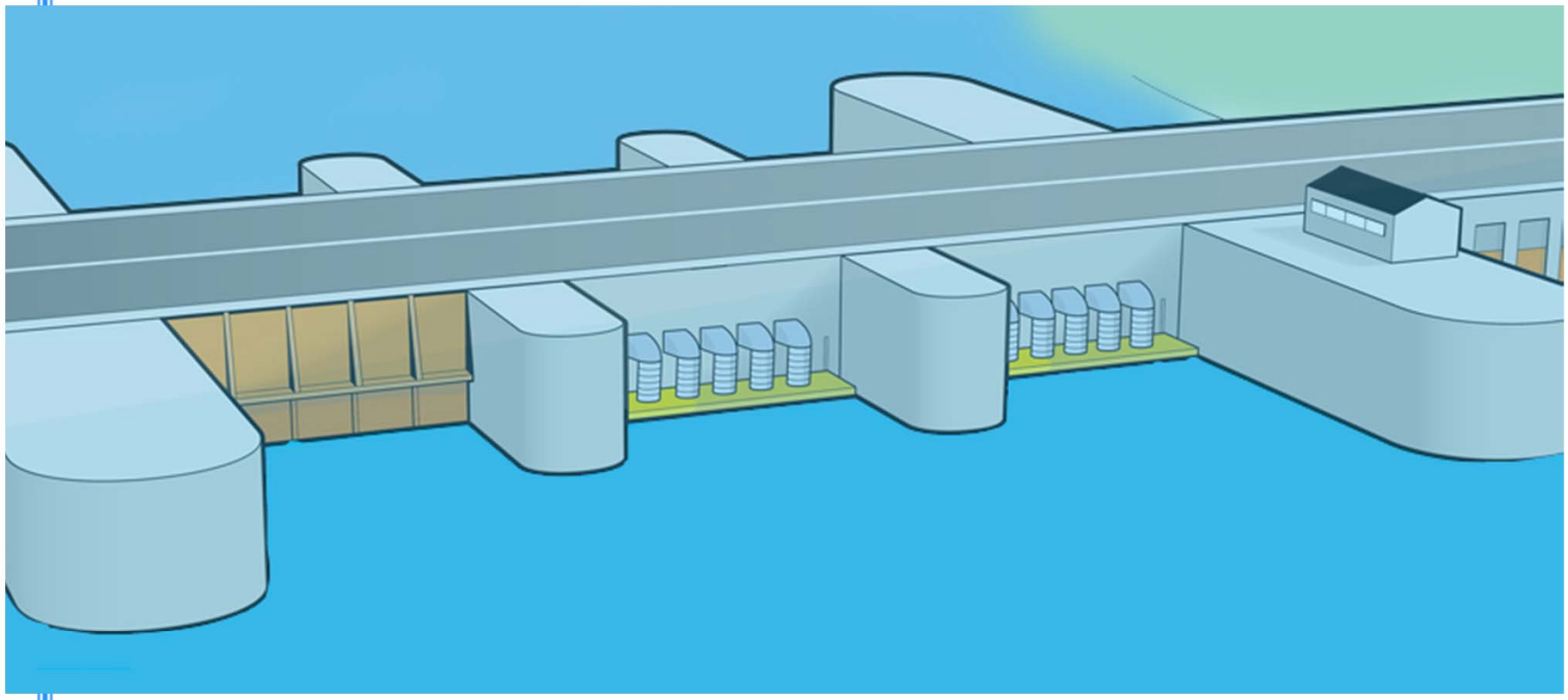


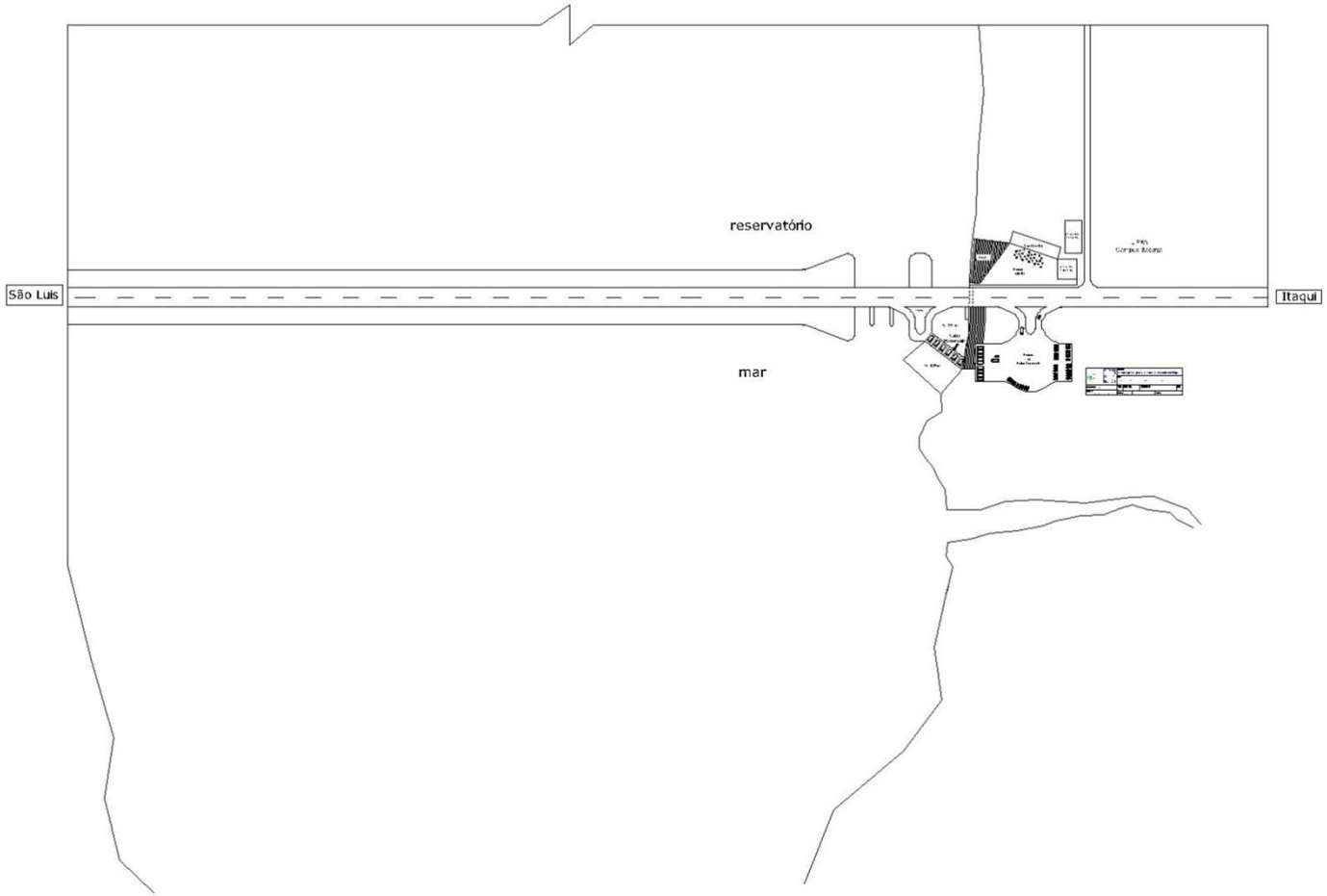
# A barragem do Bacanga
# Situação atual

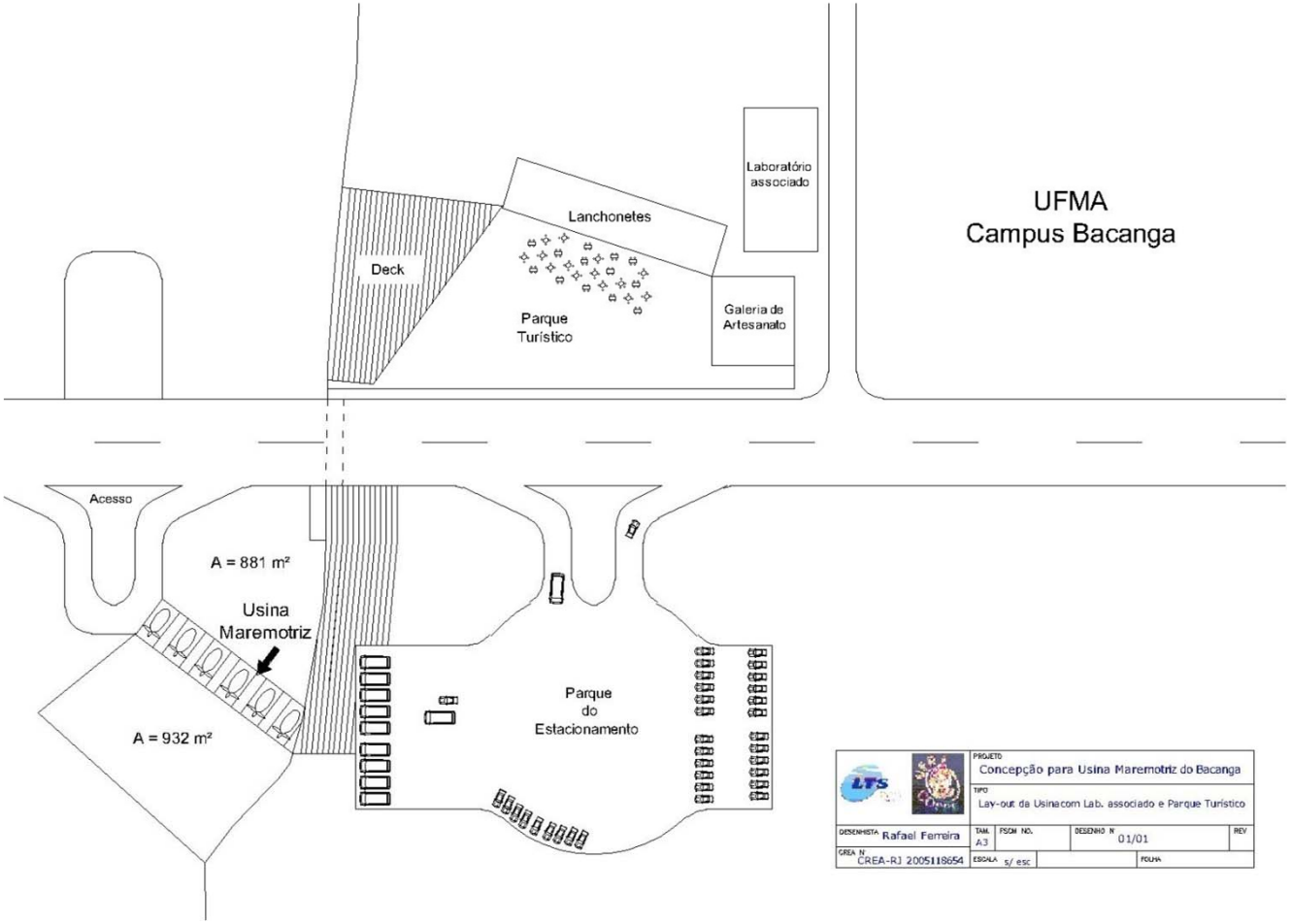
# Modelo da Usina

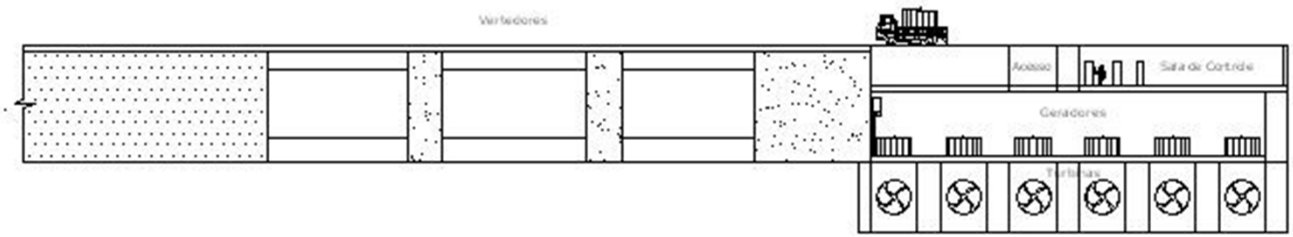


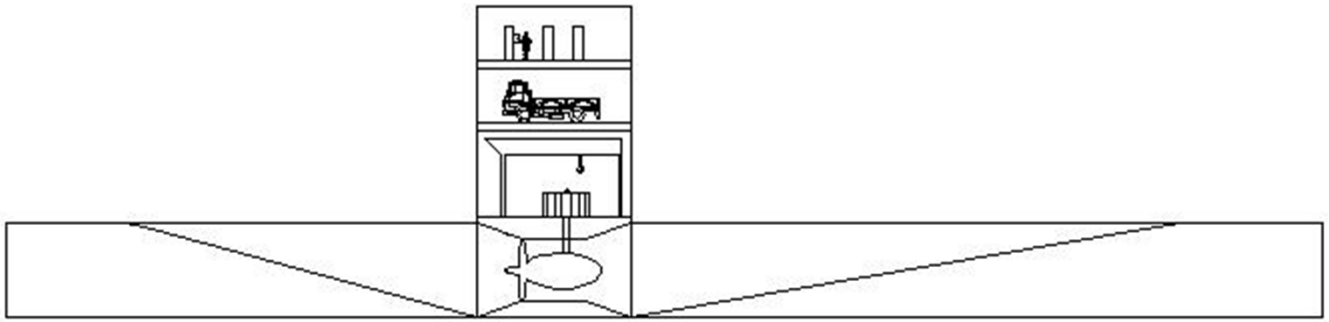
# Modelo inicial




reservatório
São Luis
Itaqui
mar


Laboratório associado
Lanchonetes
Deck
Parque Turístico
Galeria de Artesanato
UFMA
Campus Bacanga
Acesso
A = 881 m²
Usina Maremotriz
A = 932 m²
Parque do Estacionamento
PROJETO
Concepção para Usina Maremotriz do Bacanga
TIPO
Lay-out da Usinacom Lab. associado e Parque Turístico
DESENHISTA Rafael Ferreira
TAM. A3
DESENHO Nº 01/01
REV
CREA Nº CREA-RJ 2005118654
ESCALA s/ esc
FOLHA


Vertedores
Acesso
Sala de Controle
Geradores
Turbinas



# Geração e Custos

## Potência extraível:

- Potência instalada de 7 MW;
- Geração de duplo efeito:
- Assume-se a existência da barragem construída dotada de vertedouros,

Custos abrangendo somente as intervenções para implementação da usina de geração elétrica.

## Custo estimado:

- R$ 14 milhões;
- Custo MW instalado:  R$ 2 milhões (similar a uma PCH)
- Disponibilidade:  descontínua, mas previsível;
- Não há geração quando os níveis Reservatório–Mar estão próximos.
- Valor  do MWh no mercado spot: R$ 130,00
- Valor  do MWh mercado cativo:  R$ 78,00

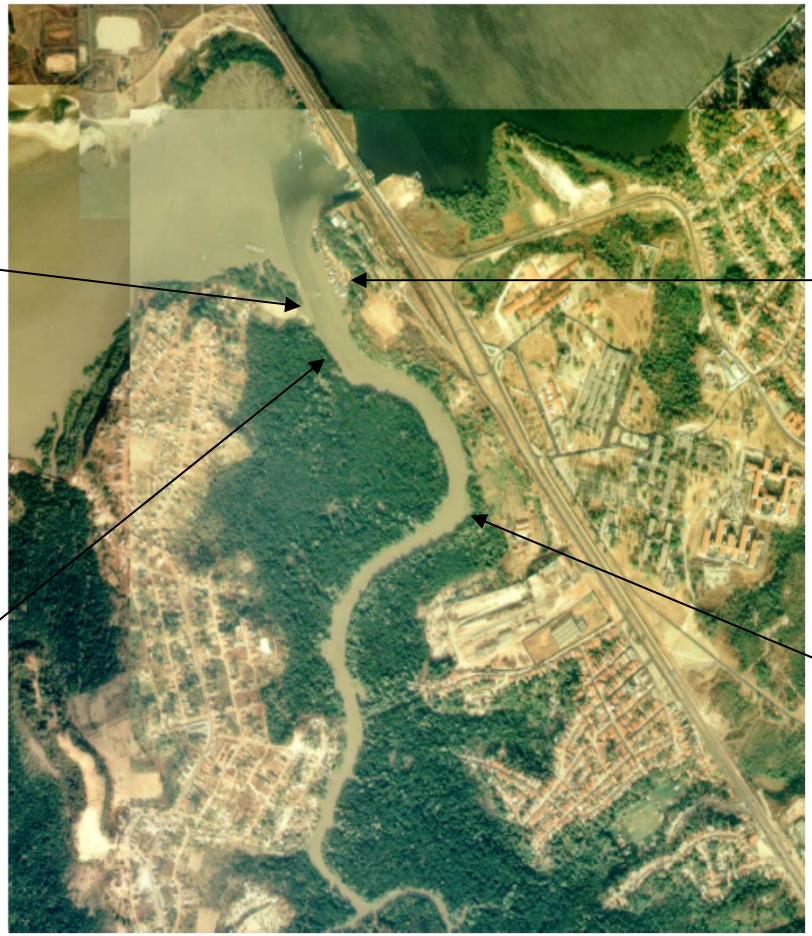
# Geração & Receita - estimação:

- Geração  estimada/ano:50.000 MWh
- Receita aproximada/ano: 50.000* 100=  R$ 5 milhões
- O&M = ?
- Pay-back: ?

# Planta Piloto Maremotriz

Núcleo de Energia Alternativa

## PROJETO ALTERNATIVO DO ITAPECURAÍBA



## Comentários finais

- A regiões do Maranhão, Pará e Amapá apresentam um volumoso potencial maré-motriz;
- A Barragem do Bacanga está na frente: impacto ambiental mínimo, barragem existente;
- Grandes e evidentes benefícios são esperados;
- Há interesse governamental: **MCT**
- Há interesse privado;

# O que falta???

- Conciliar esses interesses;

- Governo do Estado e Prefeitura devem definir o marco adequado para estimular a formalização de uma PPP.

## Contatos:


Osvaldo Ronald Saavedra Mendez  IEE – UFMA
Nelson Camelo - IEE – UFMA
Segen Stefen  -LTS – COPPE – UFRJ
Rafael  Ferreira - -LTS – COPPE – UFRJ

**Instituto de Energia Elétrica - UFMA**
www.nea.ufma.br
3301-9223
3301-8295