



Usinas Hidrelétricas Reversíveis: as Experiências Internacionais em Arranjos, Projetos e Tecnologias

PROJETO PD-00642-2705/2019

*USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS COMBINADAS COM HIDRELÉTRICAS EM
CASCATA E SEUS BENEFÍCIOS PARA A GESTÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO*

PAULO BARBOSA

ICPTECH/ HEDAIDI/ MCPAR

RIO DE JANEIRO, 16/12 2021



AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

*P&D - Programa de Pesquisa
e Desenvolvimento*

Proponente



Cooperadas



Executoras



Sumário

1. Introdução
2. A Diversidade de Projetos e Tecnologias
3. Conclusões

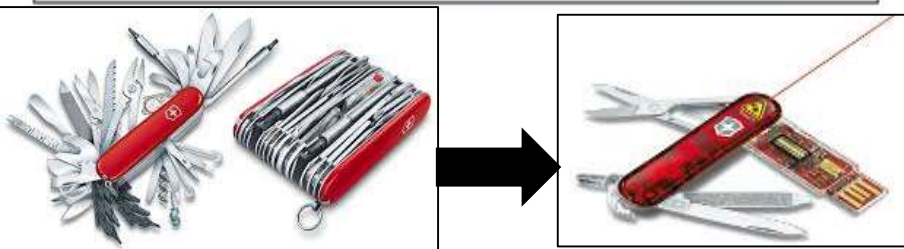
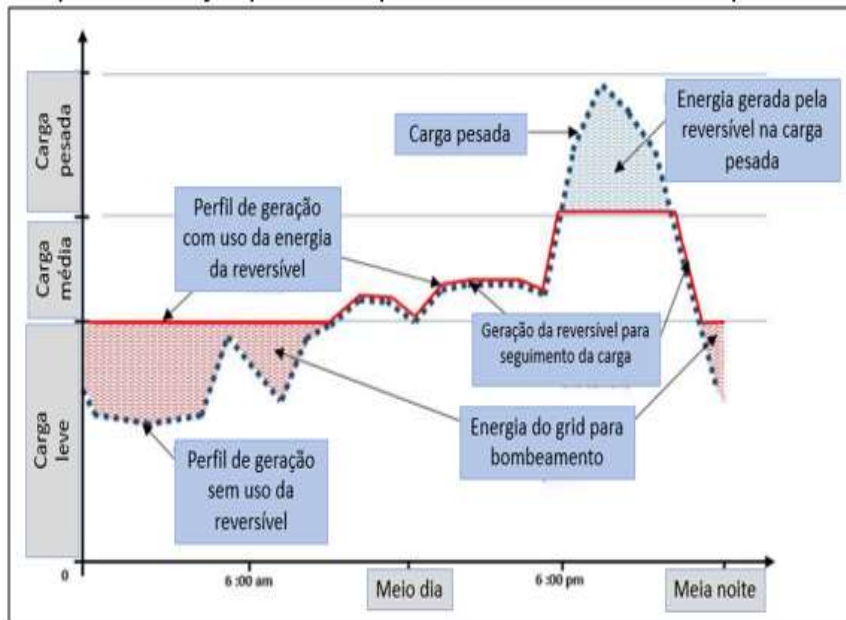
Introdução: *A redescoberta* do Valor das UHRs no Mundo

- ✓ UHR tem tecnologia comprovada (> 100 anos)
- ✓ UHR é o mais econômico sistema de armazenamento para grandes quantidades de energia
- ✓ 94% da “capacidade mundial de armazenamento” é por UHR
- ✓ Quanto maior queda (H) mais competitiva (menores diâmetros de condutos e do rotor da turbo-bomba)
- ✓ Aproveitamento de reservatórios / infraestrutura existentes: soluções de baixo impacto ambiental



Introdução: A *redescoberta* do Valor das UHRs no Mundo

O leque de serviços prestados por uma UHR é bastante amplo:



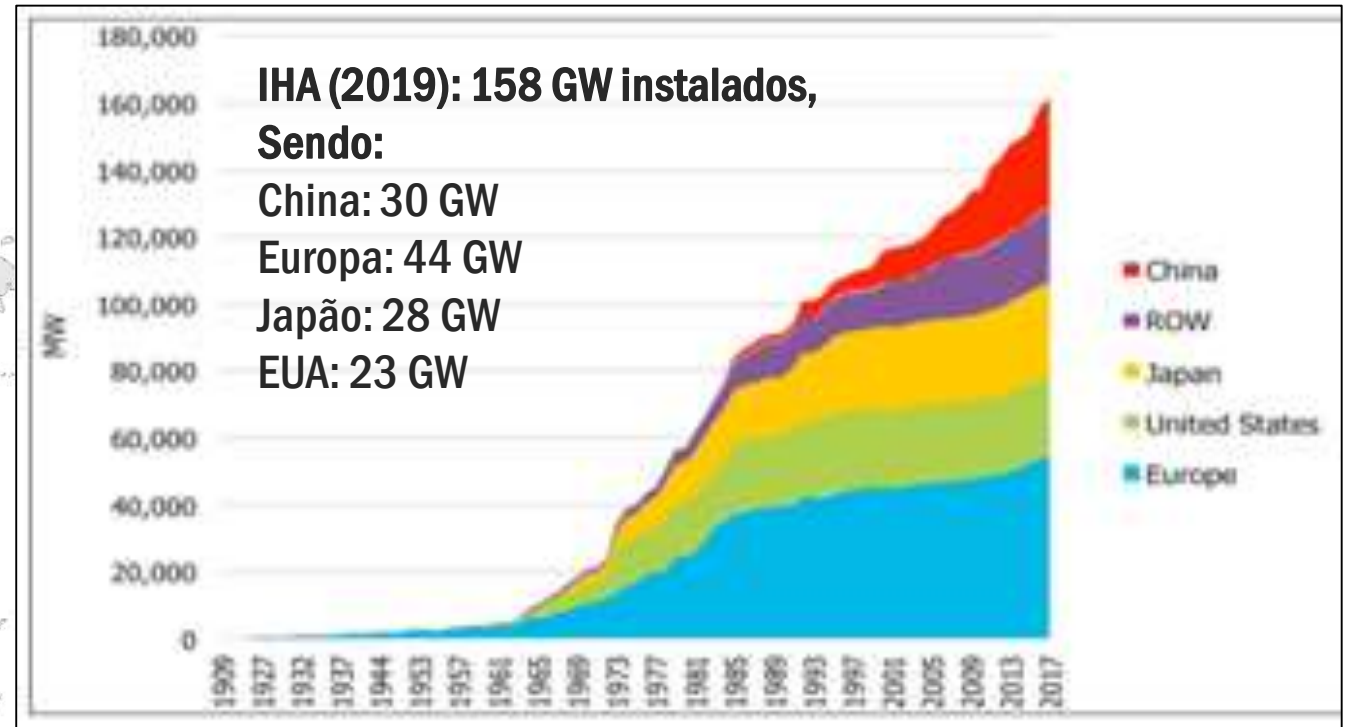
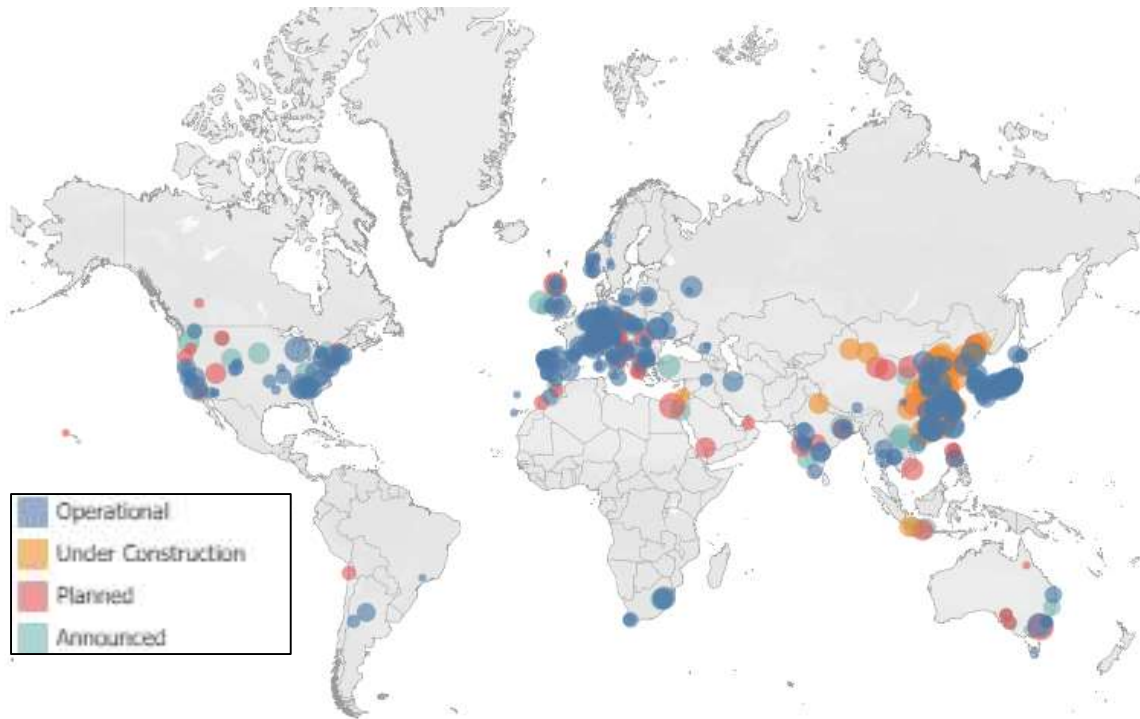
Muitos atributos de valor, diante de:

- Intermitência
- Baixa Previsibilidade
- Geração Distribuída
- Gerações com baixa inércia
- Necessidade de Armazenam.

Ex. UHR Blenheim-Gilboa, estado de Nova York-- Motivações para o Projeto (1967-68): Provisão de

- despacho rápido para atender pico de demanda
- seguimento / acompanhamento da carga, permitindo manter constante a geração de base (ex.nuclear)
- suporte a regulação de voltagem no grid
- reserva girante
- geração de back up (emergência)

1. Introdução: A redescoberta do Valor das UHRs no Mundo



Uma UHR é uma “máquina” de flexibilidade operativa aos sistemas de potência, pois tem o componente carga (prestação de serviços ancilares)

2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

Usinas de Porte Médio (50 <P< 500) MW)

Ex. UHR Veitaux II, Suíça (480 MW a partir de 2017). Empresa: ALPIQ

Suíça: Veytaux pumped storage plant



Lago Superior: Hongrin dam



Pelton turbine with spare wheel at Veytaux

Queda H = 880 m
Vazão Turbinada:
32 m³/s

Custo: USD 337 million

Expansão (a partir de 2017)

Dois novos grupos de 120 MW
Cada qual, consistindo de 2 turbinas
Pelton e 2 bombas

Total (a partir de 2017)

480 MW
Sendo 420 MW em operação e 60 MW em reserva

<https://iecetech.org/issue/2017-07/Expanded-pumped-storage-power-station-goes-into-service>



Reverse pump at the
Veytaux pump storage installation

Desafios de Engenharia:

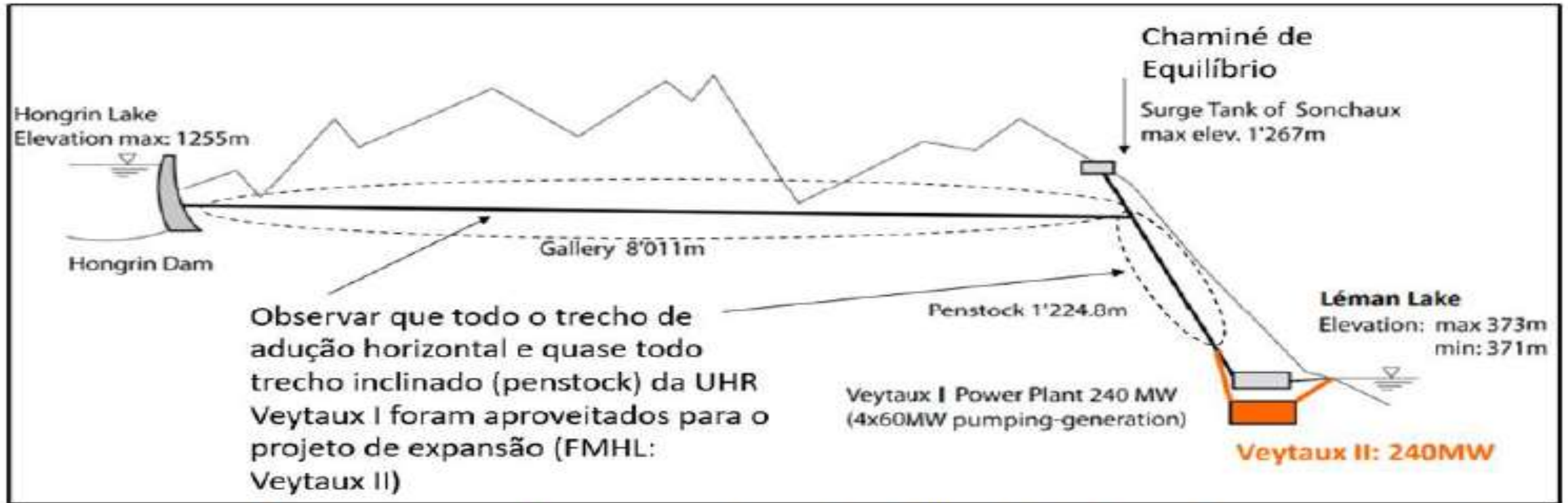
- Duplicar a capacidade (240 MW para 480 MW), ao mínimo custo
- Aproveitar muitos componentes de Veytaux I (Tubulação horizontal, penstock)
- Obras de Veytaux II sem interromper a operação de Veytaux I
- Obras em região urbana (parte inferior, dentro cidade Veytaux)



2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

Usinas de Porte Médio ($50 < P < 500$) MW)

Ex. UHR Veitaux II, Suíça (480 MW a partir de 2017)



Vista em Perfil dos Condutos de Adução e Lagos Superior e Inferior

Fonte: Nicolet et al. (2016)

2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

Usinas de Grande Porte ($P > 500$) MW)

Ex – Goldisthal, Alemanha

Tempo de Partida:

Turbina = 75 s

Bomba = 185 s

Tempo de Inversão

Bomba-Turbina:

85 segundos

Custo:

620 milhões Euros

Turbina = 75 s

Bomba = 185 s

Tempo de Inversão

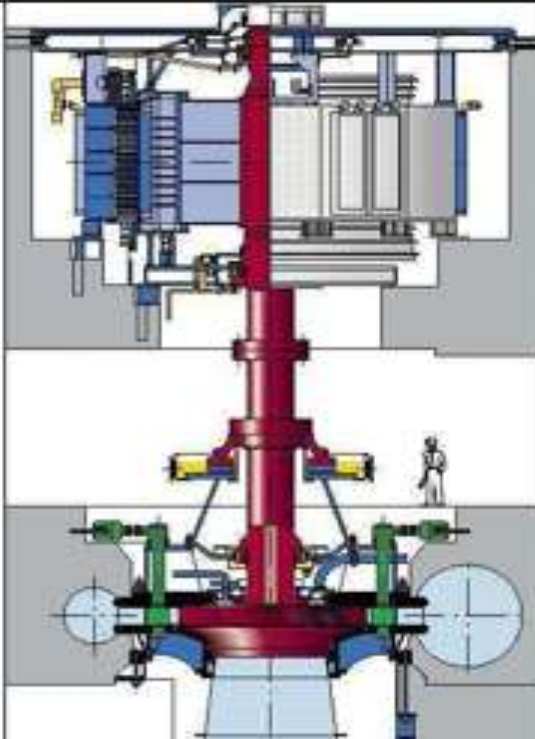
Bomba-Turbina:

85 segundos

Arranjo de máquinas:

- 2 grupos síncronos
(2 x 265) = 530 MW
Cada um operando
entre 100 a 265 MW

- 2 grupos assíncronos
/veloc. variável
(2 x 265) = 530 MW,
cada um operando em
range 40 a 265 MW



- Tempo de descarga: 9 horas
- 2 túneis de adução: L= 870 m e D= 6 m
- Cada túnel alimenta:
 - 1 Turbina vel. Fixa e
 - 1 Turbina de vel. Variável
- 2 túneis de restituição: L 275 m e D 8 m

- Adequação para Black-Start

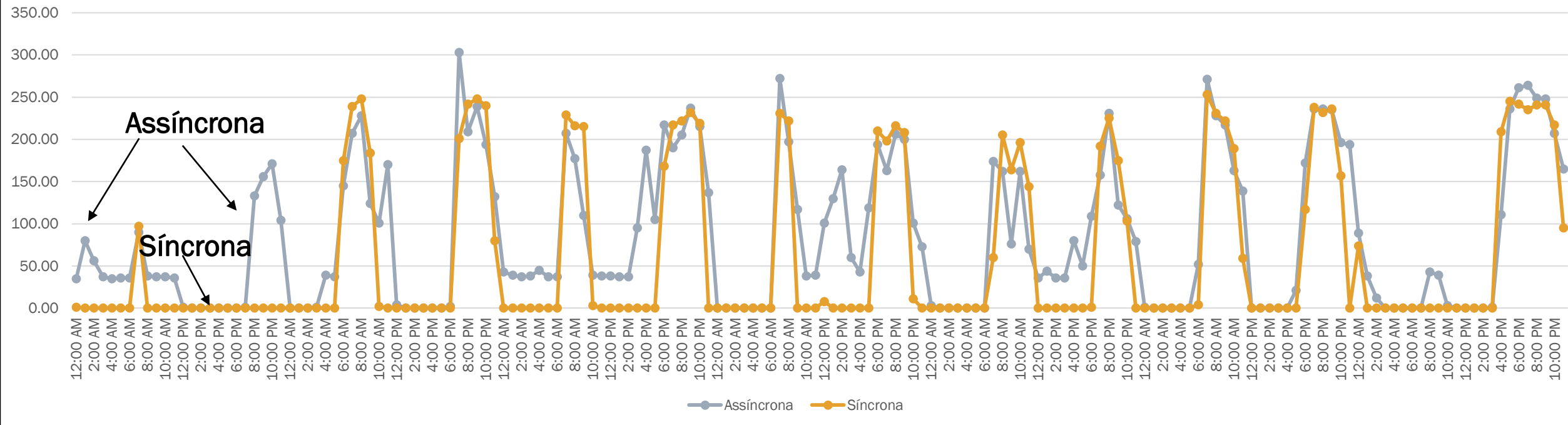
- Mais Flexibilidade
- Controle frequência no modo Bomba

Ponto para Reflexão:
Combinação de tecnologias (no caso máquina vel. fixa+ veloc. Variável) pode trazer soluções flexíveis/robustas--mais atraentes

2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

Usinas de Grande Porte (P > 500) MW) Ex – Goldisthal, Alemanha

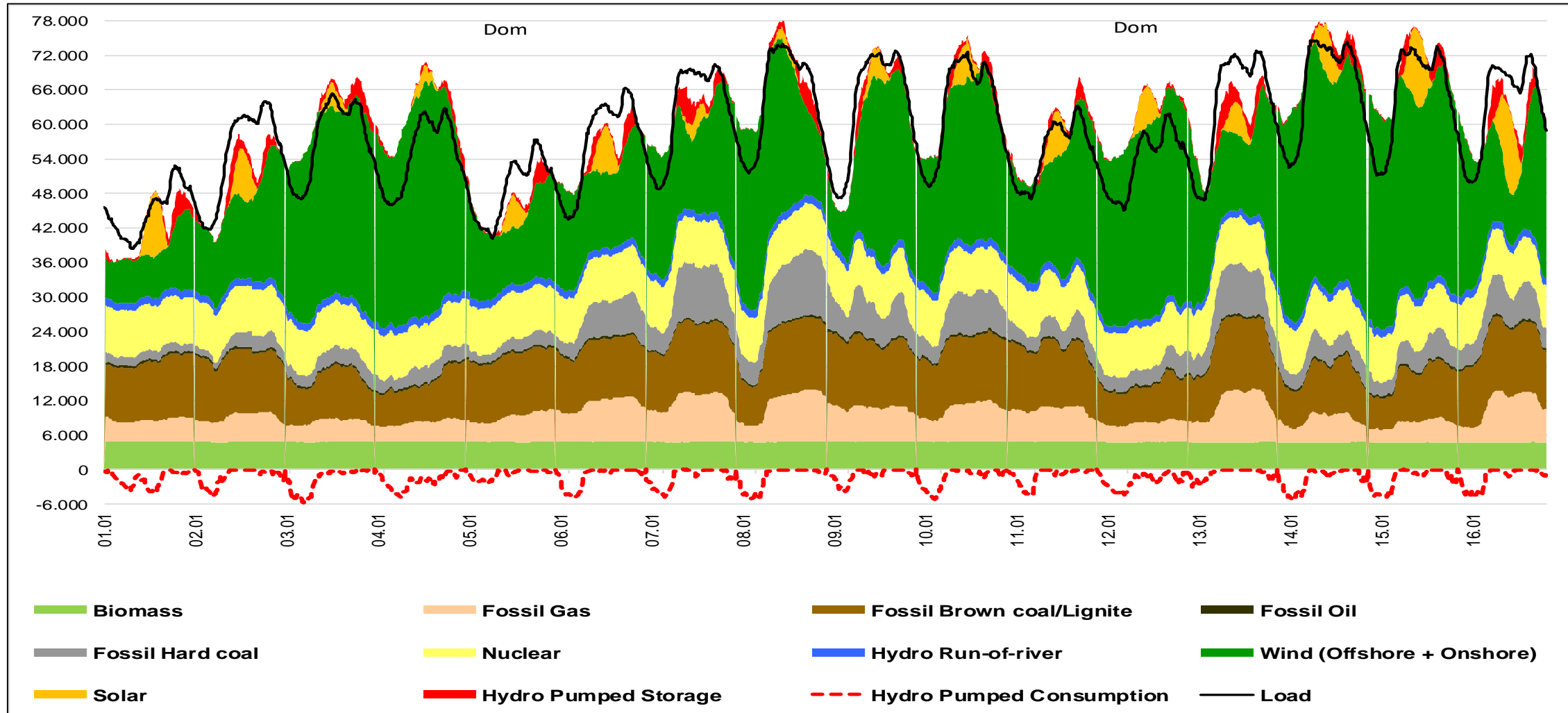
Geração (MW) na Unidade Assíncrona e Unidade Síncrona - Período de 01 a 07/Agosto/2021



A Unidade Assíncrona é mais utilizada, em razão de sua maior flexibilidade operacional

2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs - Alemanha

Participação no Portfólio de Geração/ Consumo Alemanha (1 a 16/01/2020: Inverno)

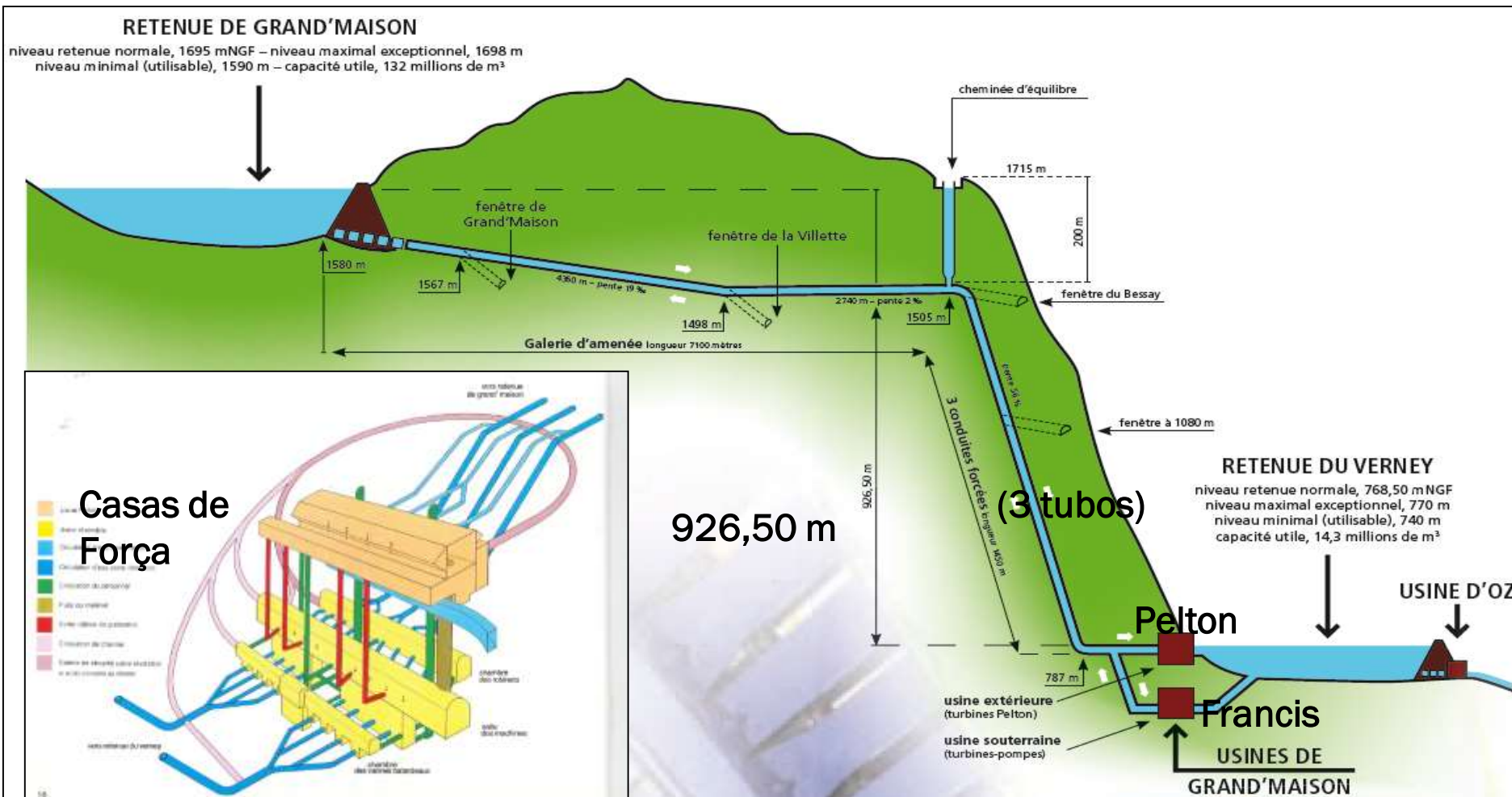


2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

UHR Grand'Maison, França (1800 MW, 4 turbinas Pelton, 8 turbinas-bombas Francis)

Obs.
Combinação harmoniosa entre Peltons (4) e Turbinas-Bombas reversíveis (8 Francis) usando boa parte de infraestrutura comum

Peltons são usadas na Partida das Turbina-Bombas modo Bombeamento



2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

UHR Goldendale – EUA (fase de Projeto)

Potência de turbinamento	1.200 MW
Potência de bombeamento	1.200 MW
Armazenamento	14,75 GWh (12 horas)
Turbinas-bombas	3 unidades Francis
Vazão de bombeamento	190 m ³ /s
Vazão de turbinamento	234 m ³ /s
Queda bruta	731 m
Tipo de circuito	Fechado
Eficiência de ciclo	80%
Velocidade de rotação	Variável

UHR Goldendale – EUA

Localização: estado de Washington
ciclos diários.

Finalidade: operações de curto prazo para mitigação de intermitência e imprevisibilidade de fontes eólicas e fotovoltaicas.



2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

UHR Goldendale – EUA (fase de Projeto)

O desnível natural permite um queda bruta de aproximadamente 730m.



A UHR se aproveitará da estrutura existente da UHE John Day e terá ciclo fechado.

O volume do reservatório superior é de 8,7 hm³



2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

UHR Tehri - Índia



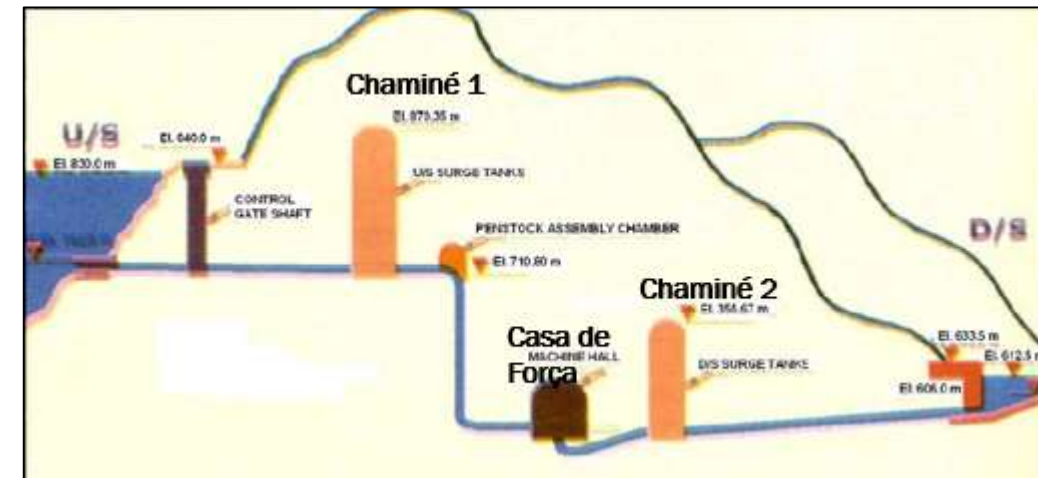
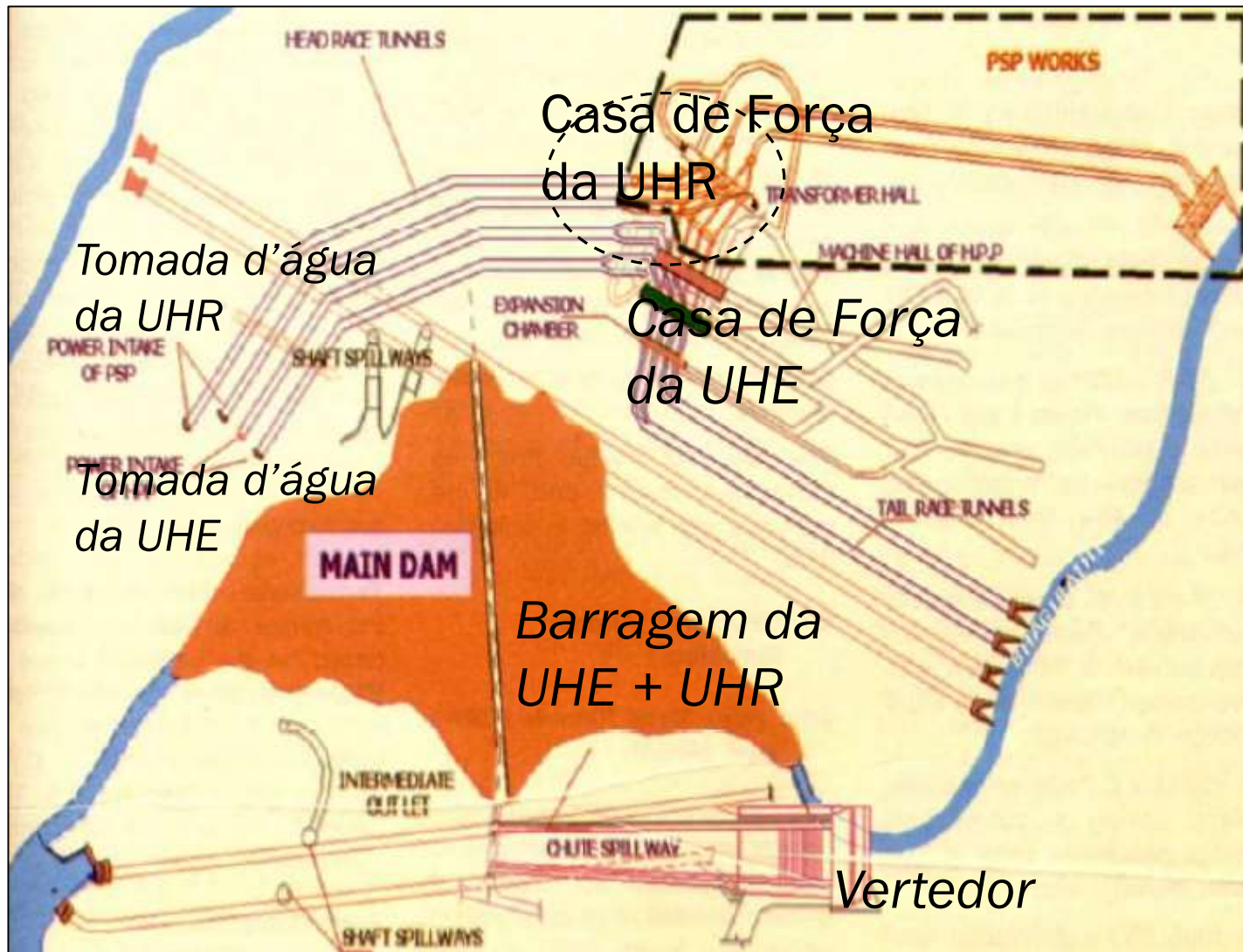
UHR Tehri - Índia

A região é montanhosa e adequada para conseguir grandes desníveis com pouca área alagada.

O principal objetivo da UHR é o **armazenamento sazonal**. O reservatório se enche durante o período de monções (junho a setembro) e é esvaziado nos demais

2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

UHR Tehri - Índia



Conceito de Complexo Hidrelétrico:

- Unidades UHR e UHE usando a mesma barragem
- A jusante: mais uma UHE de menor porte

2. A Diversidade dos Projetos e Tecnologias de UHRs

Alguns Fatores Determinantes de Escolha de Locais para Implantação de UHRs

- Necessidade do Sistema Elétrico (Regional ou Nacional). Exs. Japão (década 70) e Suíça (2012) –ambas associadas a Nuclear
- Existência de queda adequada
- Oportunidade de aproveitamento de infraestrutura existente (exs. reservatório de UHE existente, túneis, etc)
- Condições adequadas locais (geomecânicas, hidrologia, etc) para as obras
- Proximidade de linha de transmissão (para facilitar produção e suprir carga de bombeamento)
- Inexistência de restrições socio-ambientais, ou existência de restrições que possam ser contornadas/ mitigadas

3. CONCLUSÕES

a) Bons Projetos de UHR dependem de bons Arranjos, com aproveitamento de oportunidades locais. É o caso de:

- UHR Bath County (rios próximos, com desnível grande desnível: 380 m)
- UHR Goldendale (730m de desnível, com aproveitamento de UHE existente John Day)
- UHR Tehri – Máximo aproveitamento, em ***Complexo Hidroelétrico***

b) Bons Projetos pode ter longa durabilidade e fluxo de benefícios. Ex. UHR Blenheim-Gilboa (47 anos de funcionamento), que teve ampla modernização (2009)

3. CONCLUSÕES

Usinas Hidrelétricas Reversíveis são /podem ser:

- **Armazenamento de Energia**
- **Carga (útil para controle de frequência/ suporte de reativos no grid)**
- **Geração**
 - de rápida despachabilidade
 - flexibilidade operacional (rampas / descidas)
 - para seguimento de carga
 - Peak shaving
 - Provisão de capacidade
 - Estabilização do grid

3. CONCLUSÕES

- **As UHRs são um caso particular de Usinas Hidrelétricas-UHEs, com a inserção dos equipamentos/máquinas para o ciclo de Bombeamento**
- **Muitos dos componentes típicos das UHEs também estão presentes nas UHRs (exs. tomada d'água, circuito hidráulico, casa de força, etc)**
- **A boa concepção do arranjo das obras/ escolhas pode fazer a diferença, em ambas UHR e UHEs**
- **É Tecnologia provada/ madura, de longa durabilidade (100 anos)**
- **Se alinham muito bem com Vocação Hidrelétrica já existente no Brasil**

Obrigado!

[Paulo Barbosa](#)

franco.barbosa@gmail.com

(19) 99252 7644