

PME3453 Máquinas de fluxo e sistemas fluidodinâmicos



EPUSP / Engenharia Mecânica



Humberto Gissoni

Horário de atendimento



Terças-feiras após as aulas até às 18h na secretaria de Mecânica dos Fluidos (ES10).

E-mail: Humberto.Gissoni@usp.br



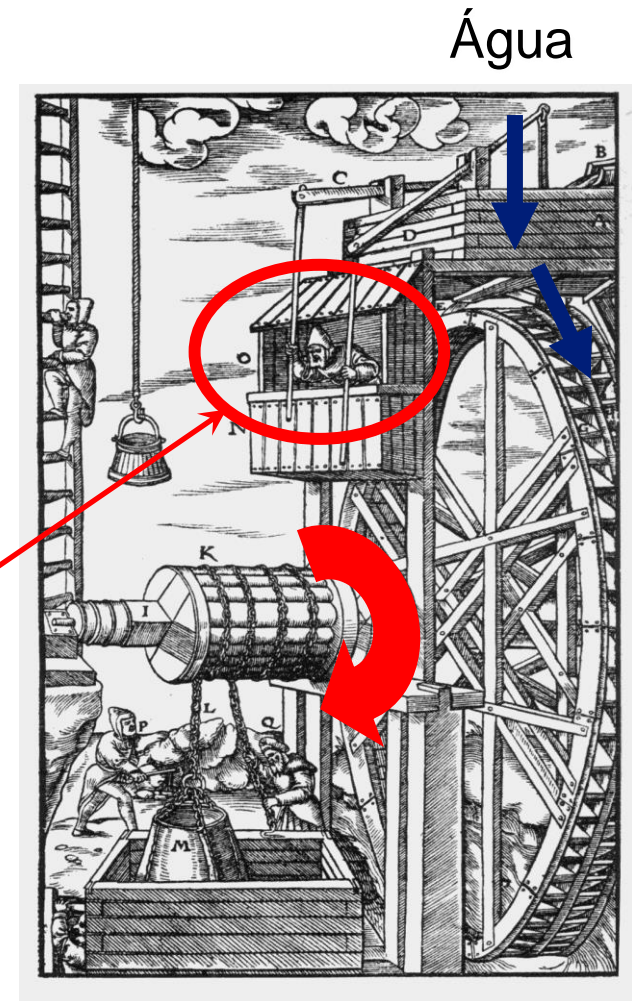
1. Energia
2. Máquinas de transformação de energia
3. Cavitação
4. Instalações hidrelétricas
5. Instalações termelétricas
6. Sistemas de recalque

Evolução histórica



Pré história : domínio do fogo
Pré história até século XVIII
Reduzida evolução social e econômica
Reduzido aproveitamento energético

Sistema de controle



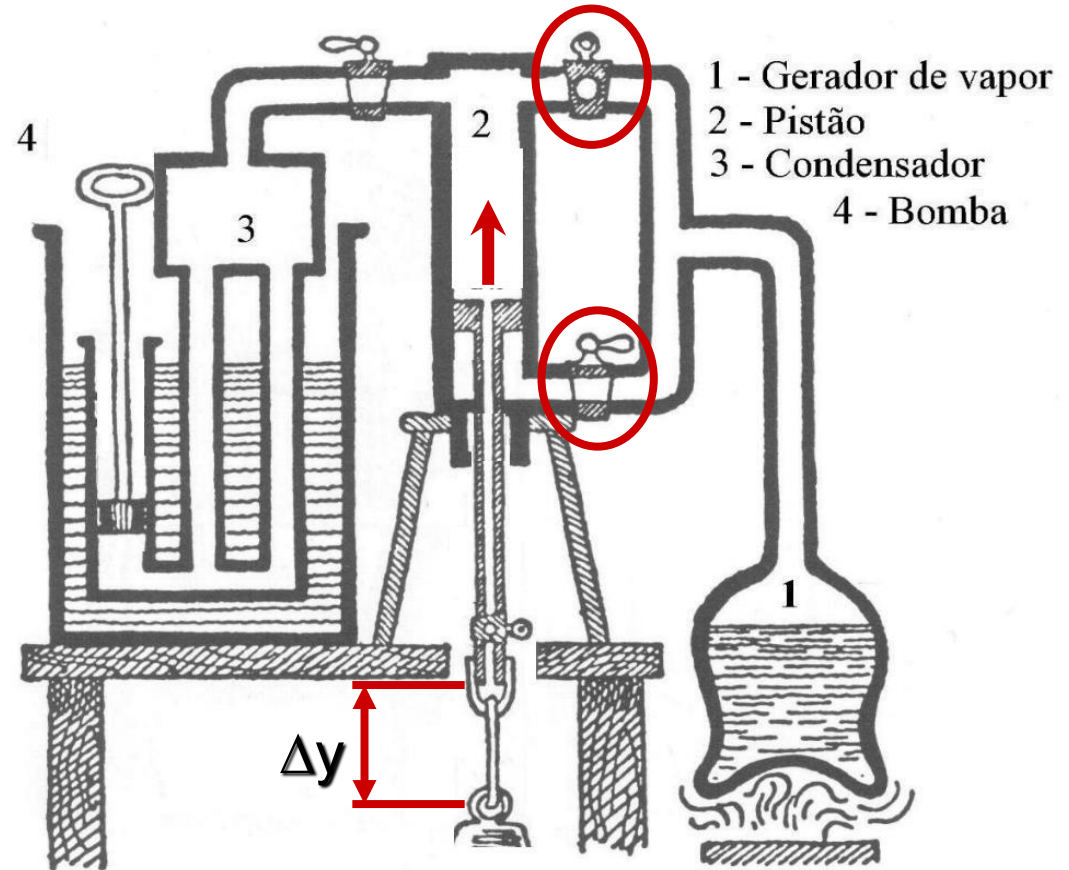
Bomba de poço D=10,7 m (G. Agricola 1556)

Esquema de máquina a vapor segundo James Watt



- Meados do século XVIII
- 1750: ciclo do vapor por James Watt
- Revolução industrial
- Desenvolvimento social e econômico crescente

Δy : deslocamento do peso devido ao trabalho realizado pelo vapor





Térmicas convencionais: Turbinas a vapor

Hidráulicas: Turbinas hidráulicas

Após 1960: Energia nuclear para geração de vapor

Após 1975: Choques do petróleo

Formas alternativas: investimentos em pesquisa oscilando segundo o preço do petróleo

Após: 1990 políticas claras de investimentos nas formas alternativas



Primária: nível não alterado pelo homem

- Carvão natural, óleo cru, gás natural, urânio não enriquecido, energia hidráulica, energia solar

Secundária: nível alterado pelo homem

- Derivados de petróleo, energia elétrica, urânio enriquecido, vapor

Hidráulica: Reaproveitada em usinas reversíveis

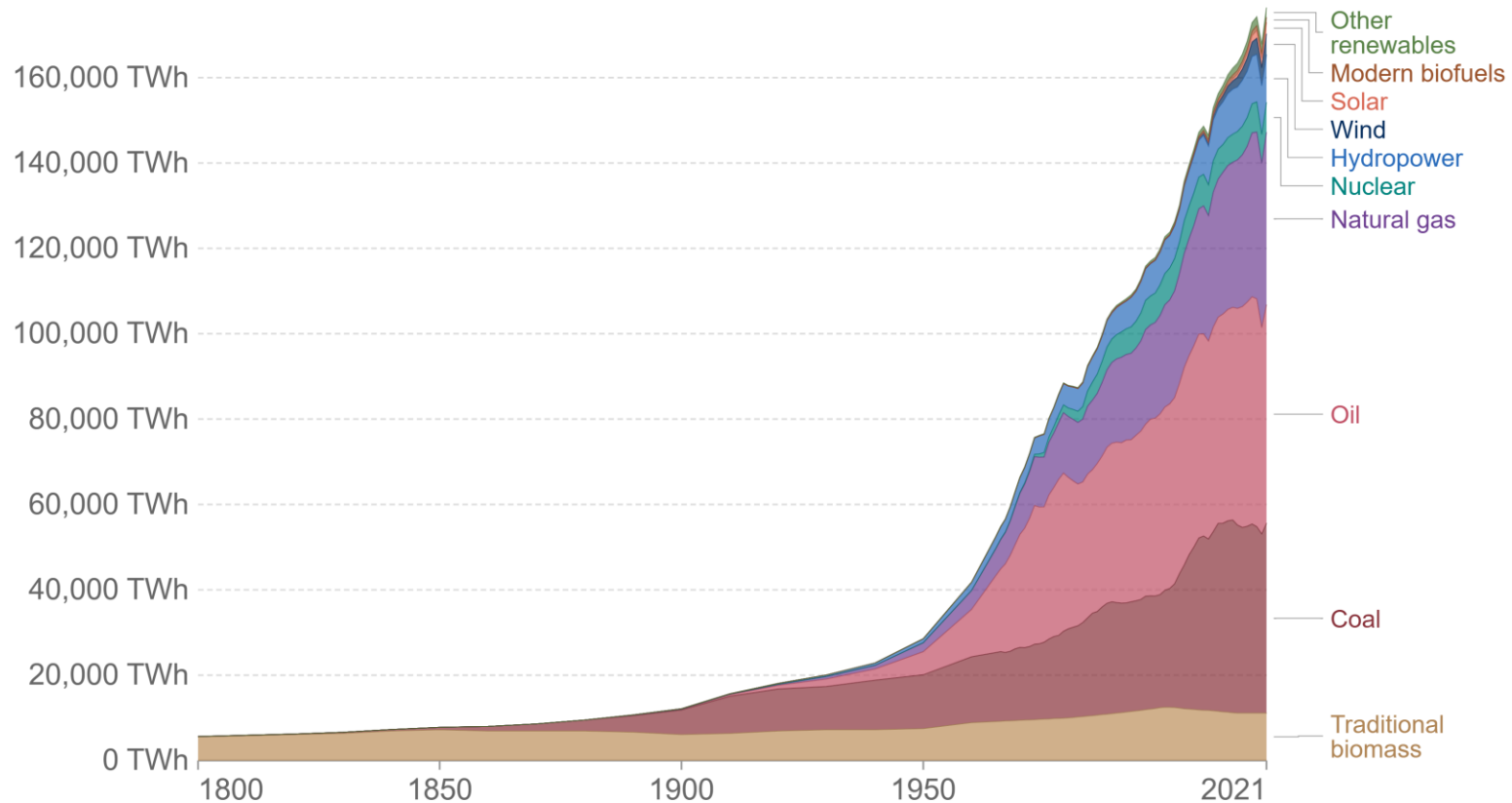
Consumo de energia primária no mundo



Global primary energy consumption by source



Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



Source: Our World in Data based on Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

Formas renováveis e perecíveis de energia



Aproveitamento para transformação em energia elétrica

Países desenvolvidos:

- Térmico: processamento de carvão, óleo, gás natural, urânio } Energia perecível
- Energia hidráulica } Energia renovável (pouco significativa)
- Energia eólica }
- Energia solar }

Formas renováveis e perecíveis de energia



Aproveitamento para transformação em energia elétrica

Países em desenvolvimento:

- Petróleo, gás natural } Energia perecível
- Energia hidráulica } Energia renovável
- Energia eólica }
- Biomassa }

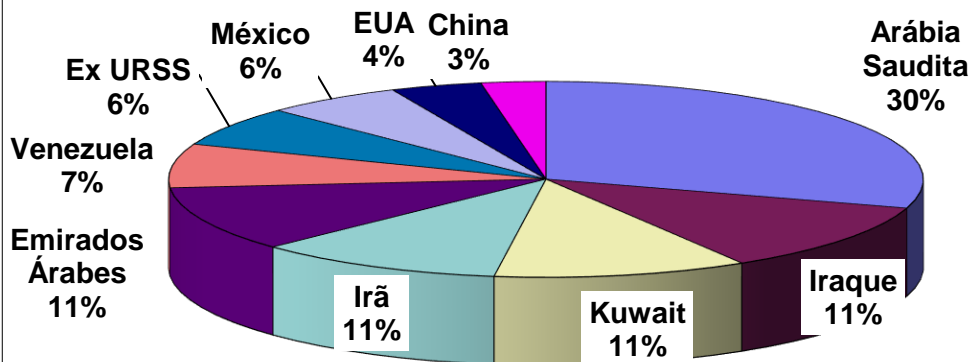
Energia hidráulica:

Fator de carga → parcela do ano em que a usina pode operar a plena carga

Reservas mundiais de petróleo (1992 – 2015)



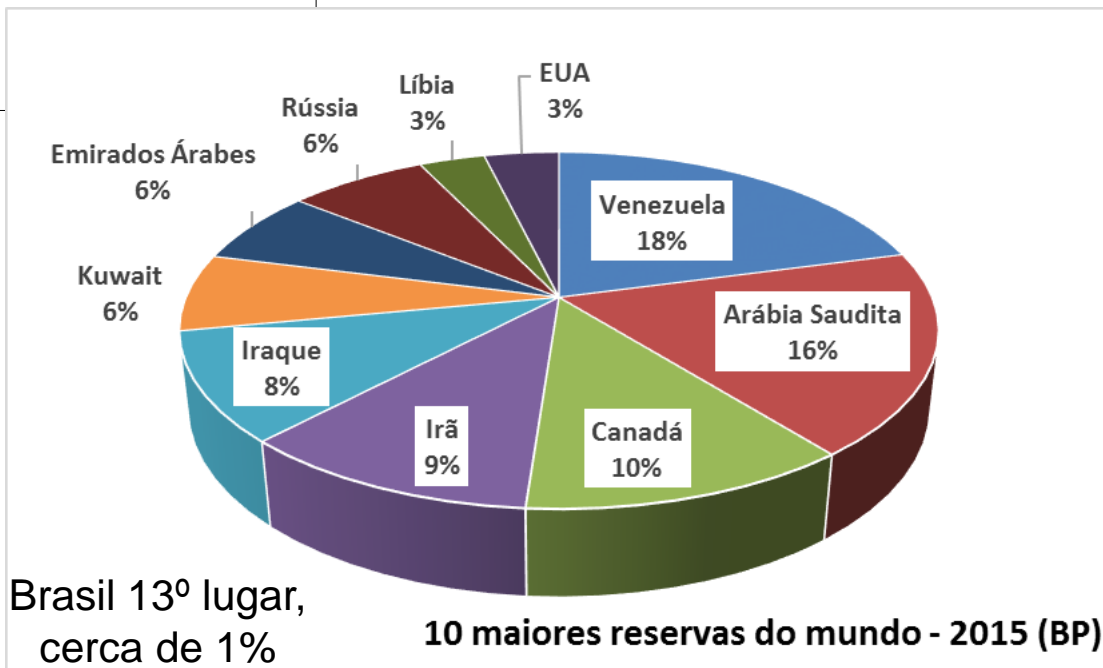
1992 (Petrobrás)



Oriente Médio

1992: cerca de 75% das reservas

2015: cerca de 45% das reservas



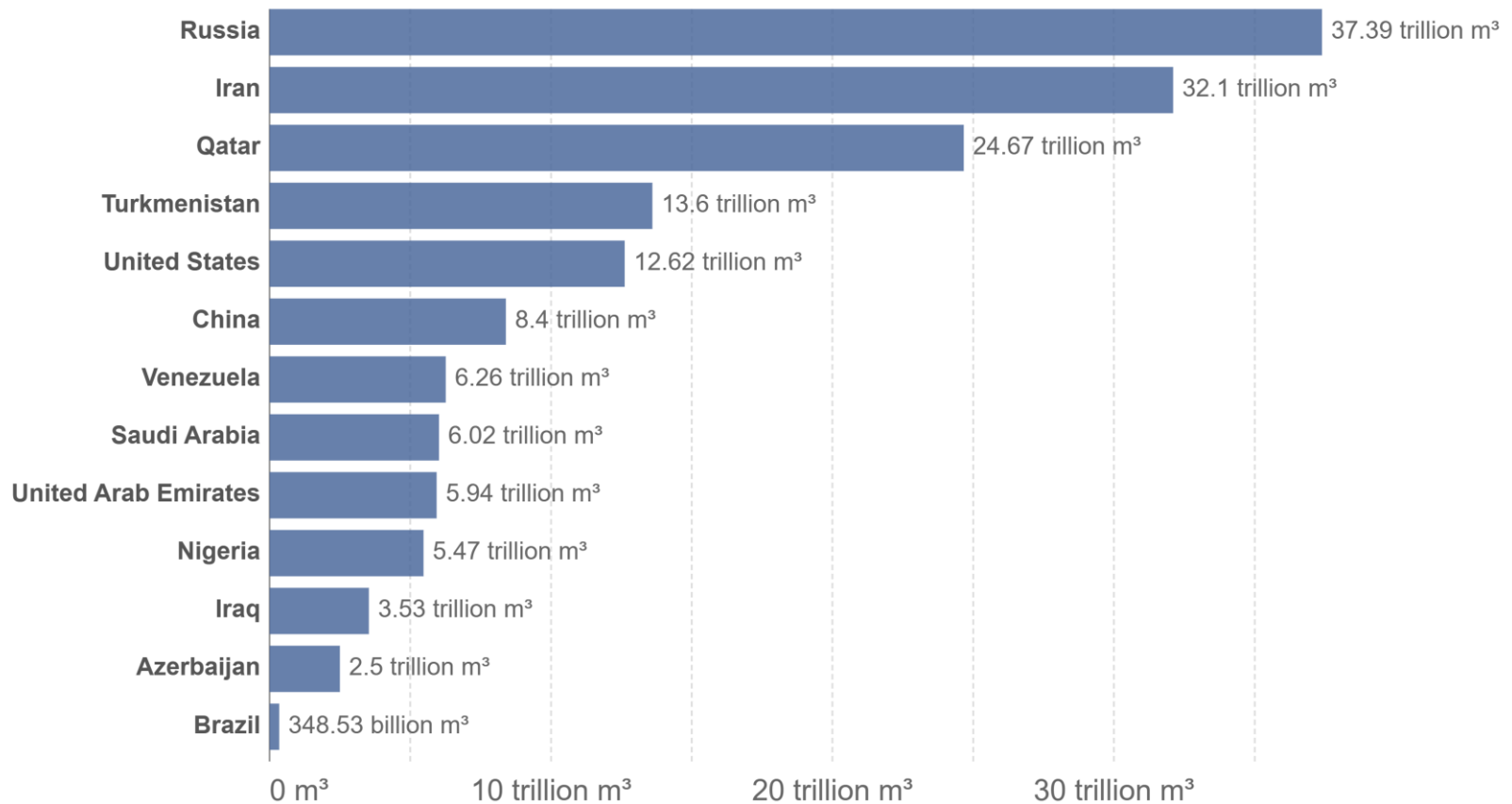
Reservas de gas natural



Our World
in Data

Gas reserves, 2020

Proved reserves is generally taken to be those quantities that geological and engineering information indicates with reasonable certainty can be recovered in the future from known reservoirs under existing economic and operating conditions.



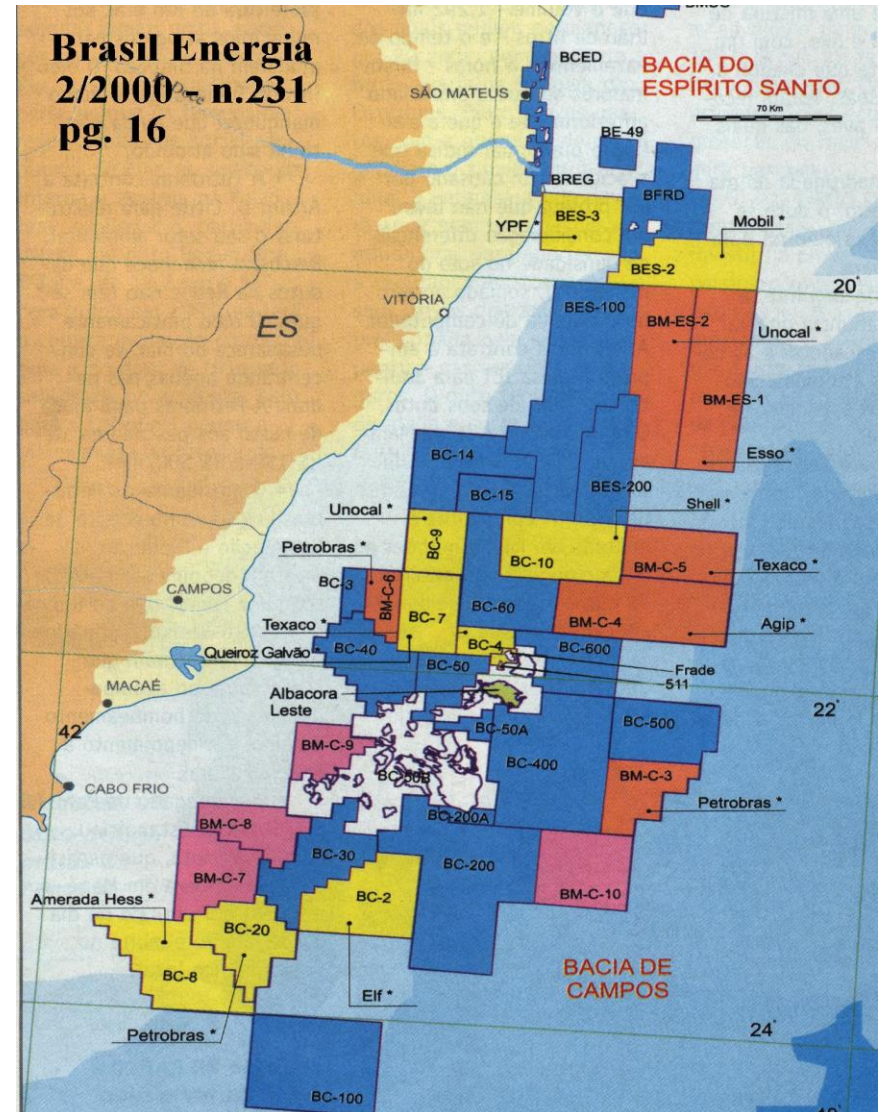
Source: BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/fossil-fuels/ • CC BY

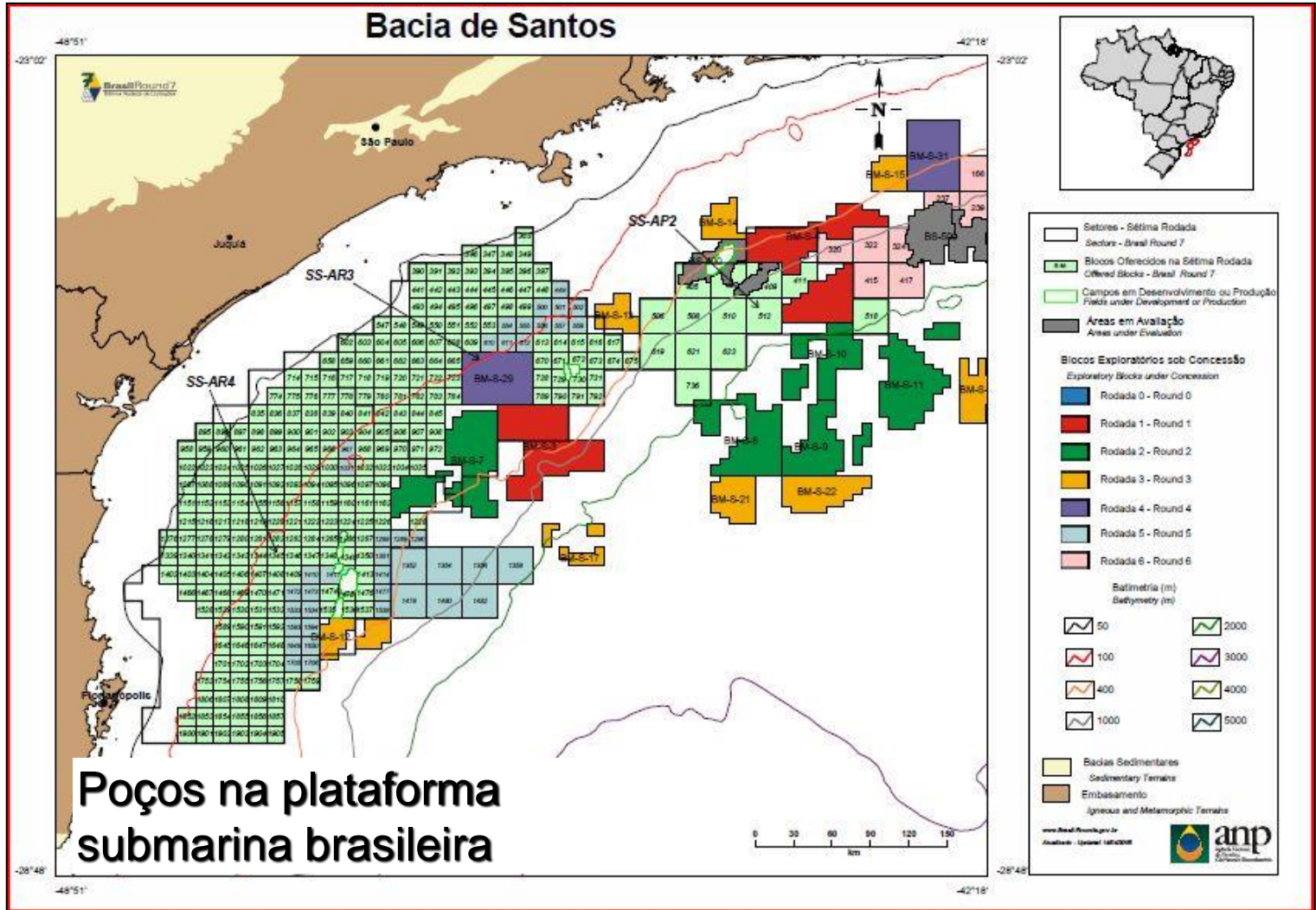
Poços na plataforma submarina brasileira



Bacia de Campos, RJ
Bacia do Espírito Santo, ES



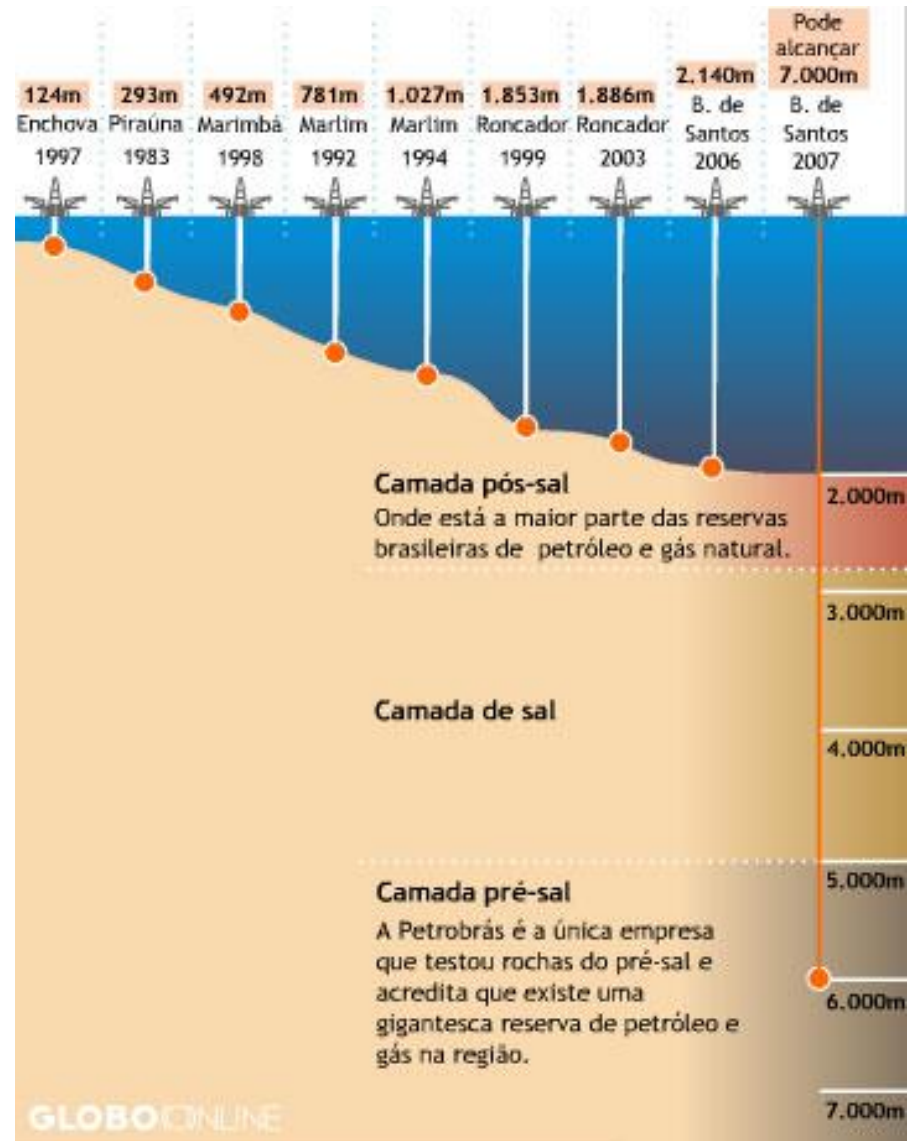
Bacia de Santos, SP (2008)



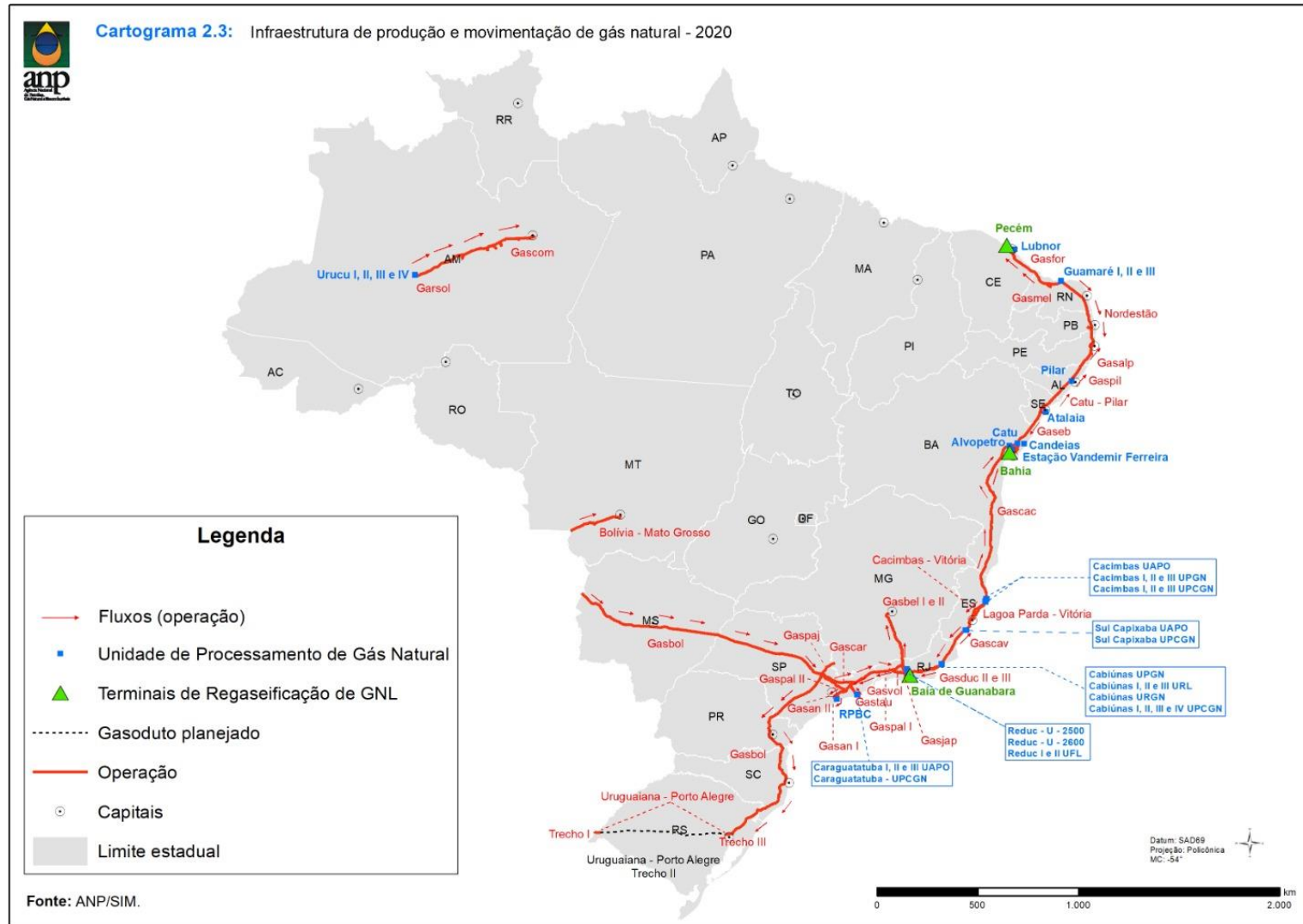
Profundidades de perfuração



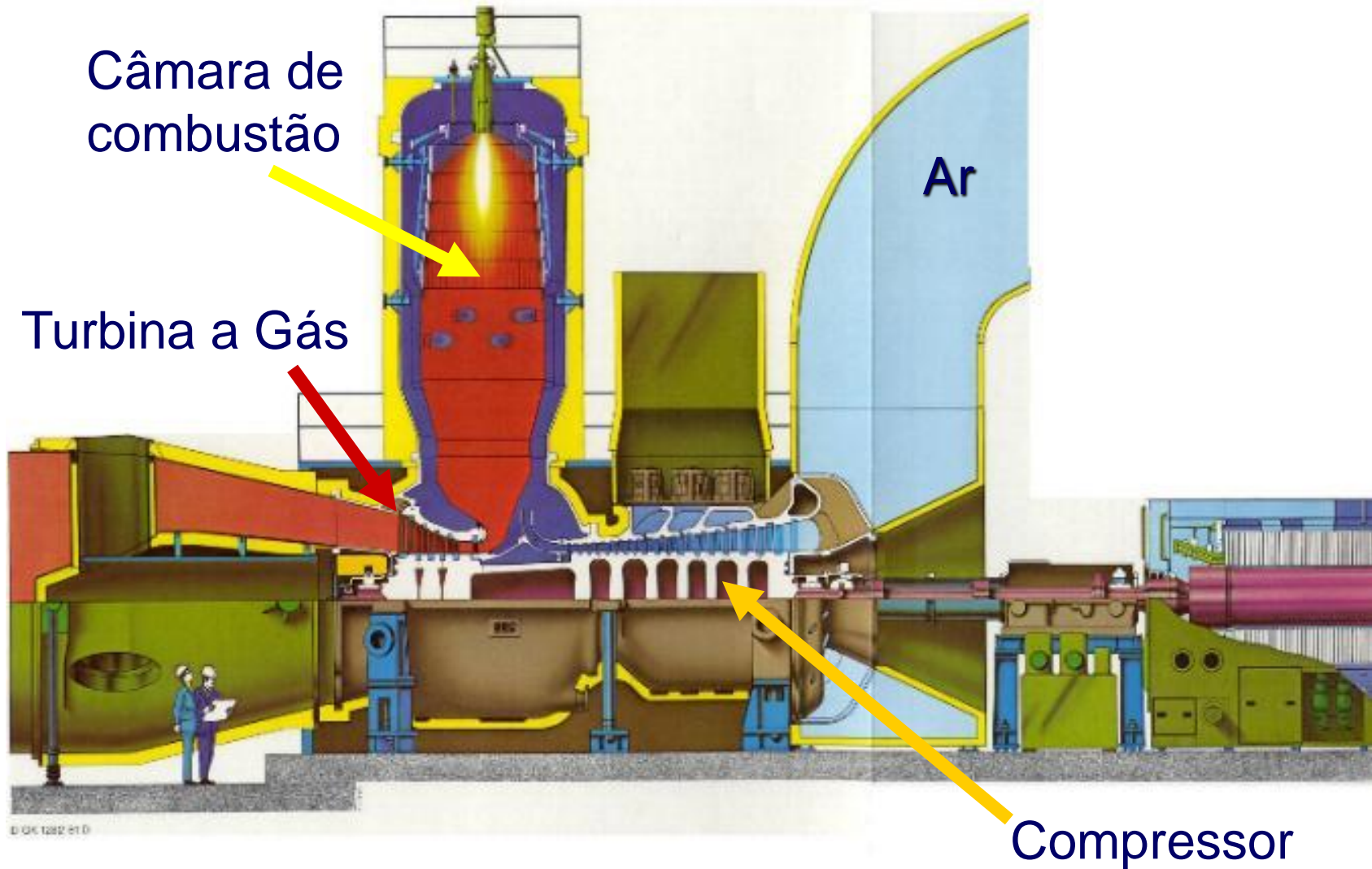
Profundidades de perfuração na plataforma submarina brasileira



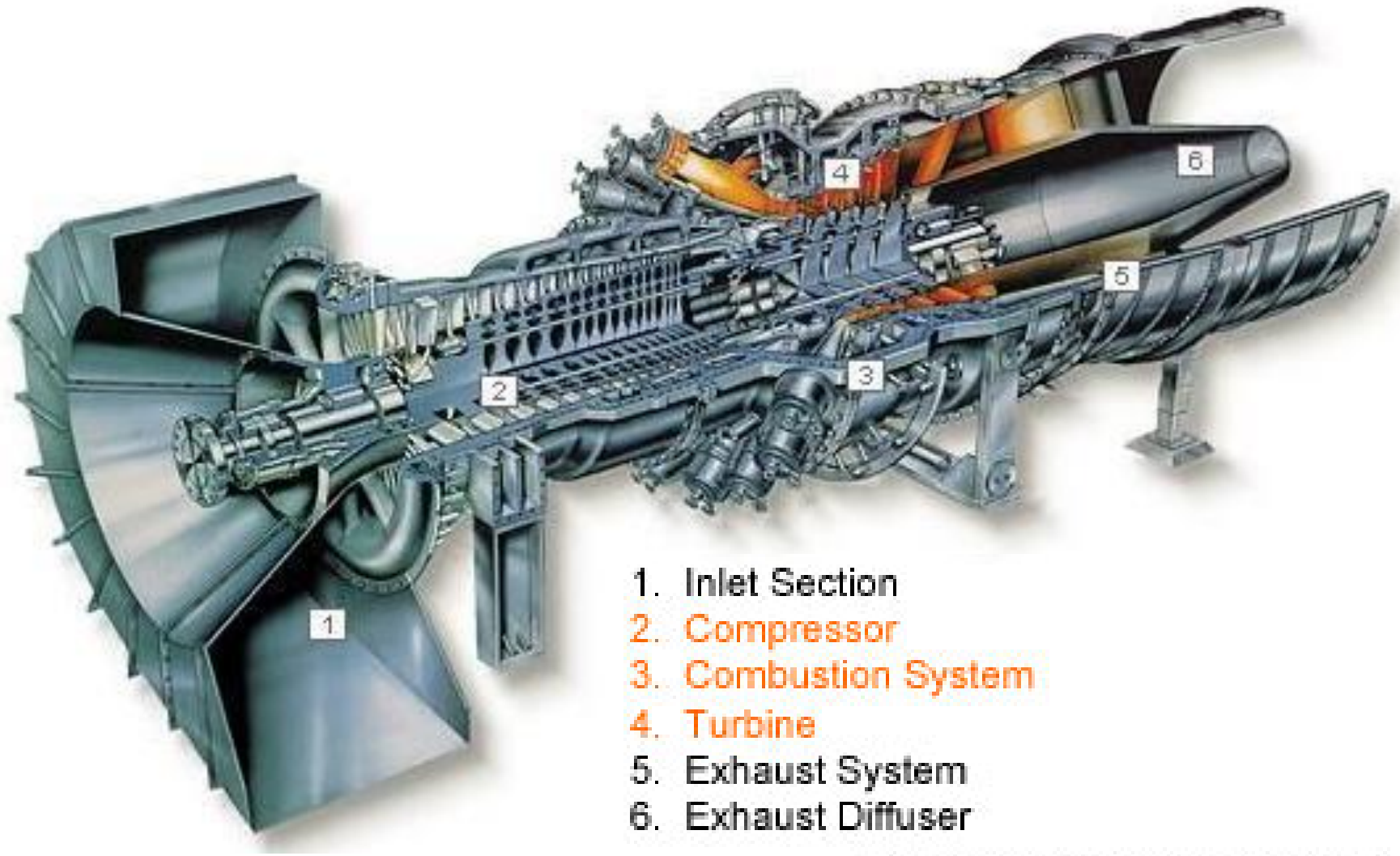
Gasodutos no Brasil



Motor a gás – Aplicação em termelétricas



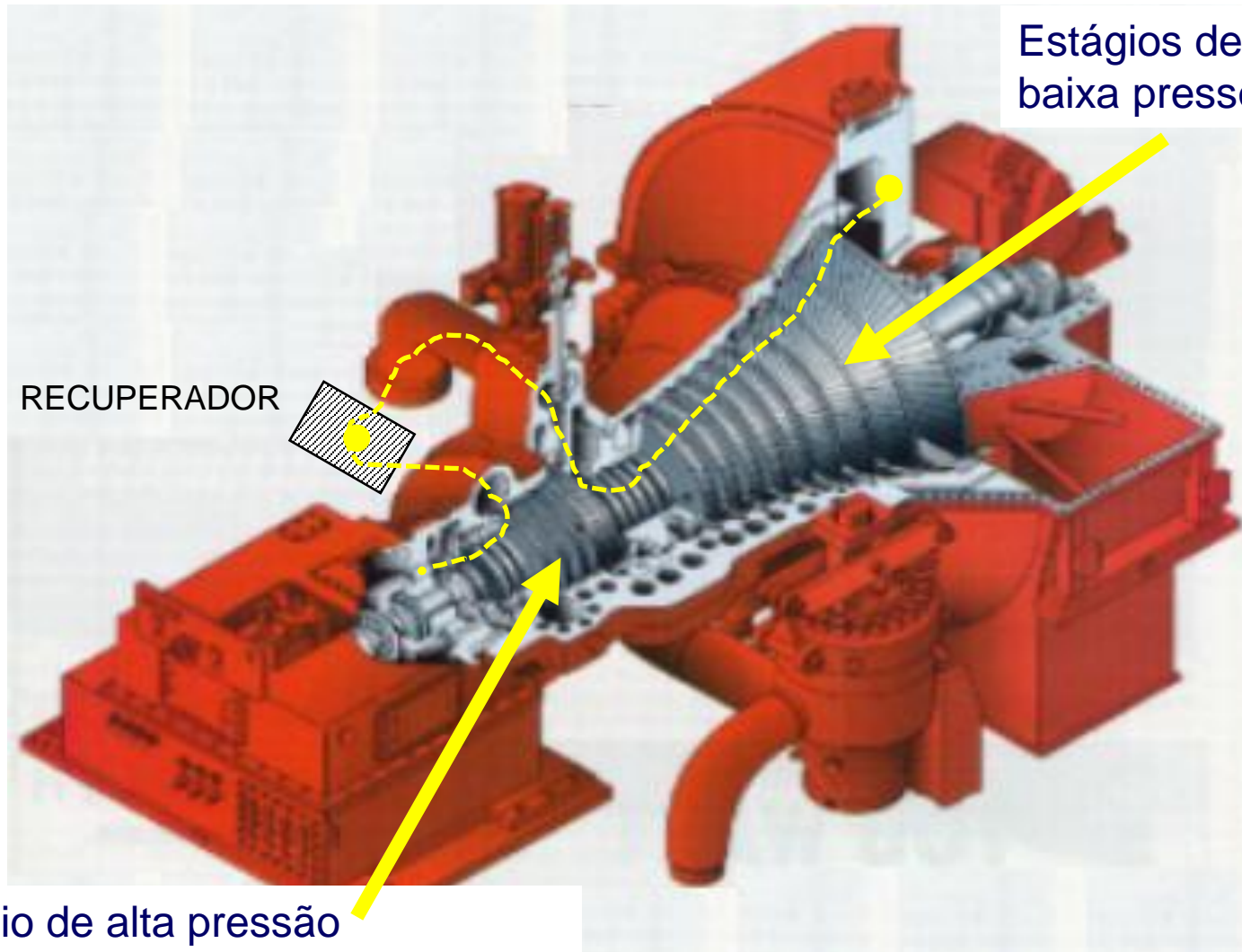
Motor a gás – Aplicação em termelétricas



1. Inlet Section
2. Compressor
3. Combustion System
4. Turbine
5. Exhaust System
6. Exhaust Diffuser

Courtesy of Siemens Westinghouse

Turbina a vapor – Aplicação em termelétricas



Estágios de média e baixa pressões

menor nível de energia do vapor

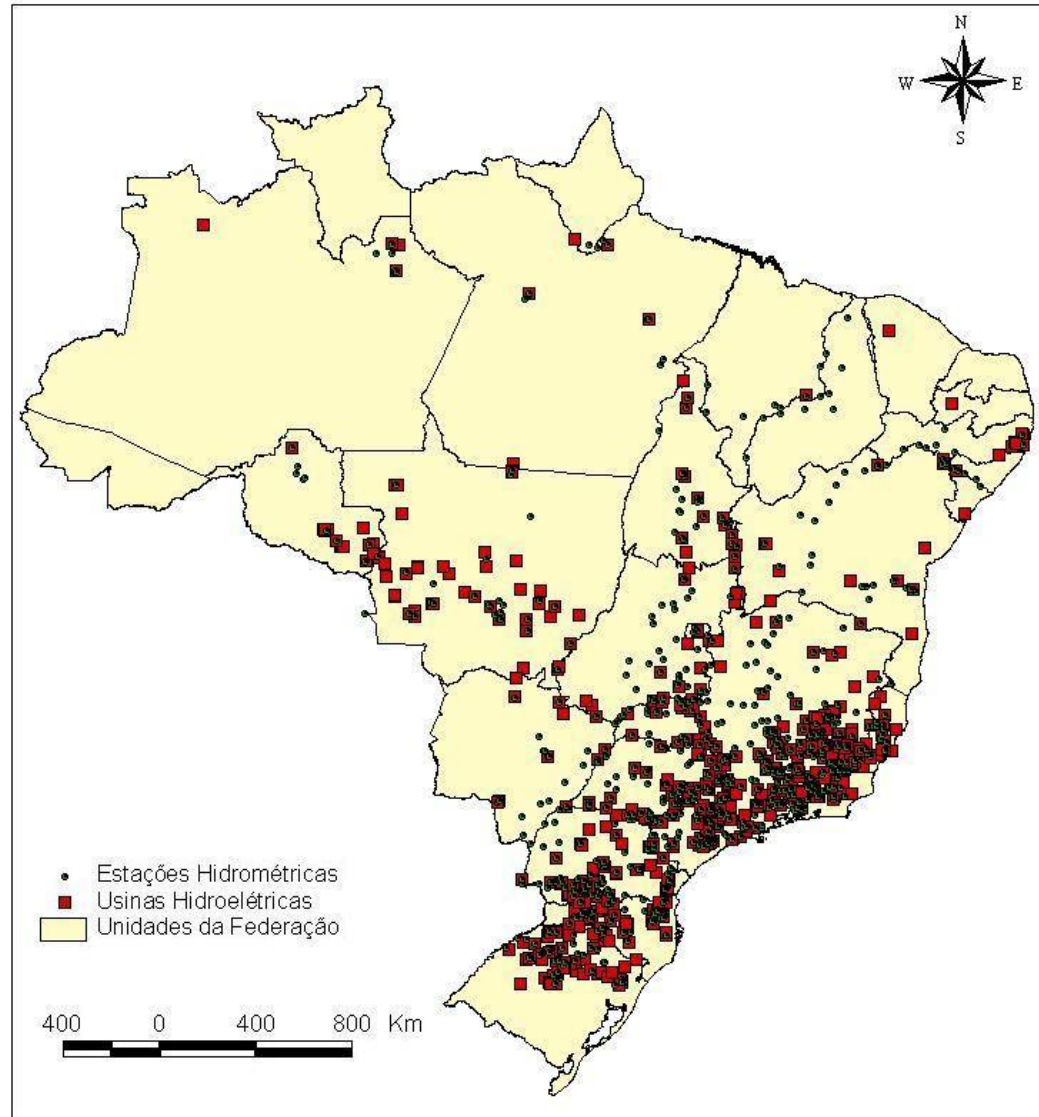
RECUPERADOR

Estágio de alta pressão
maior nível de energia do vapor

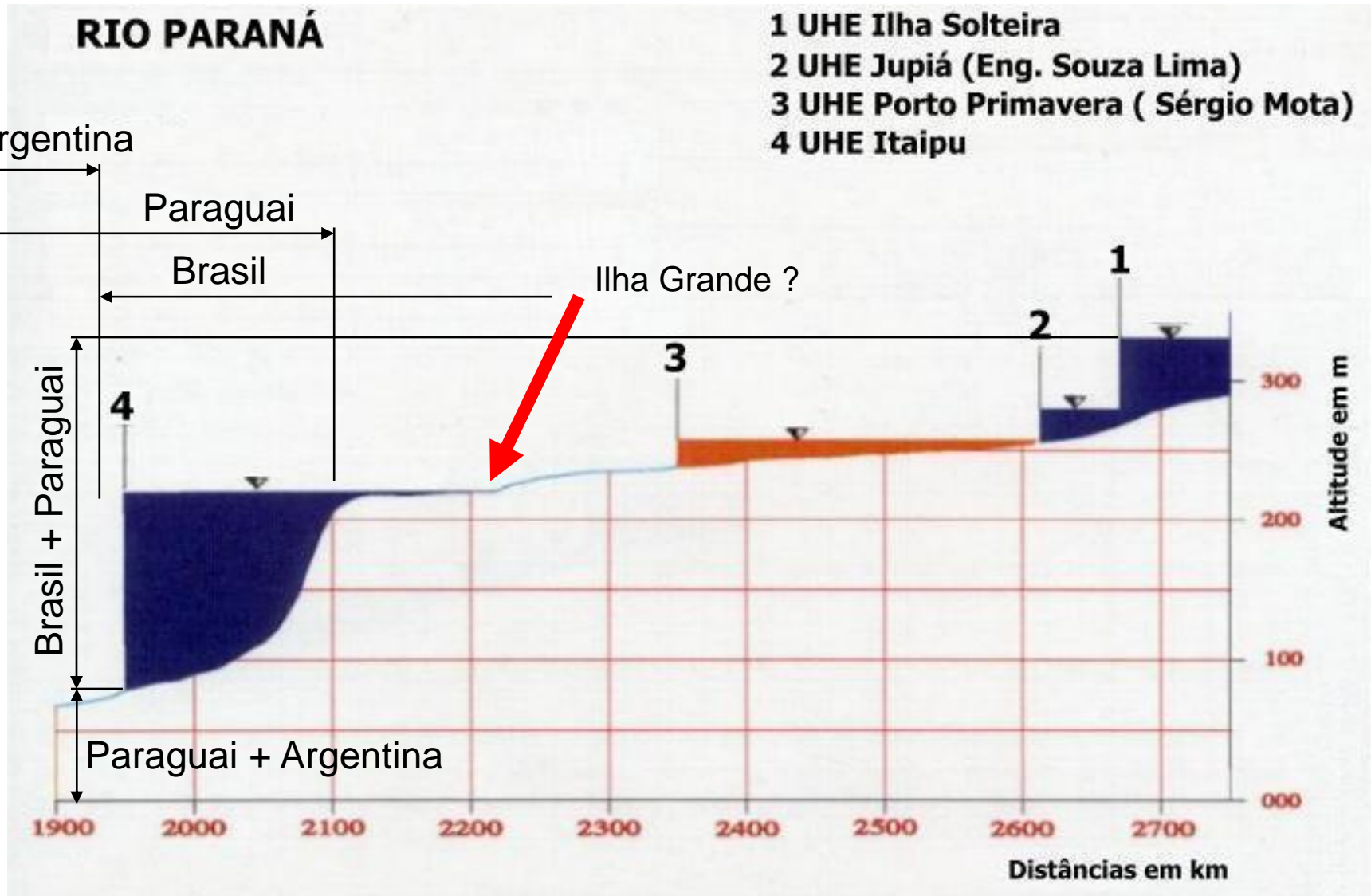
Aproveitamento hidráulico



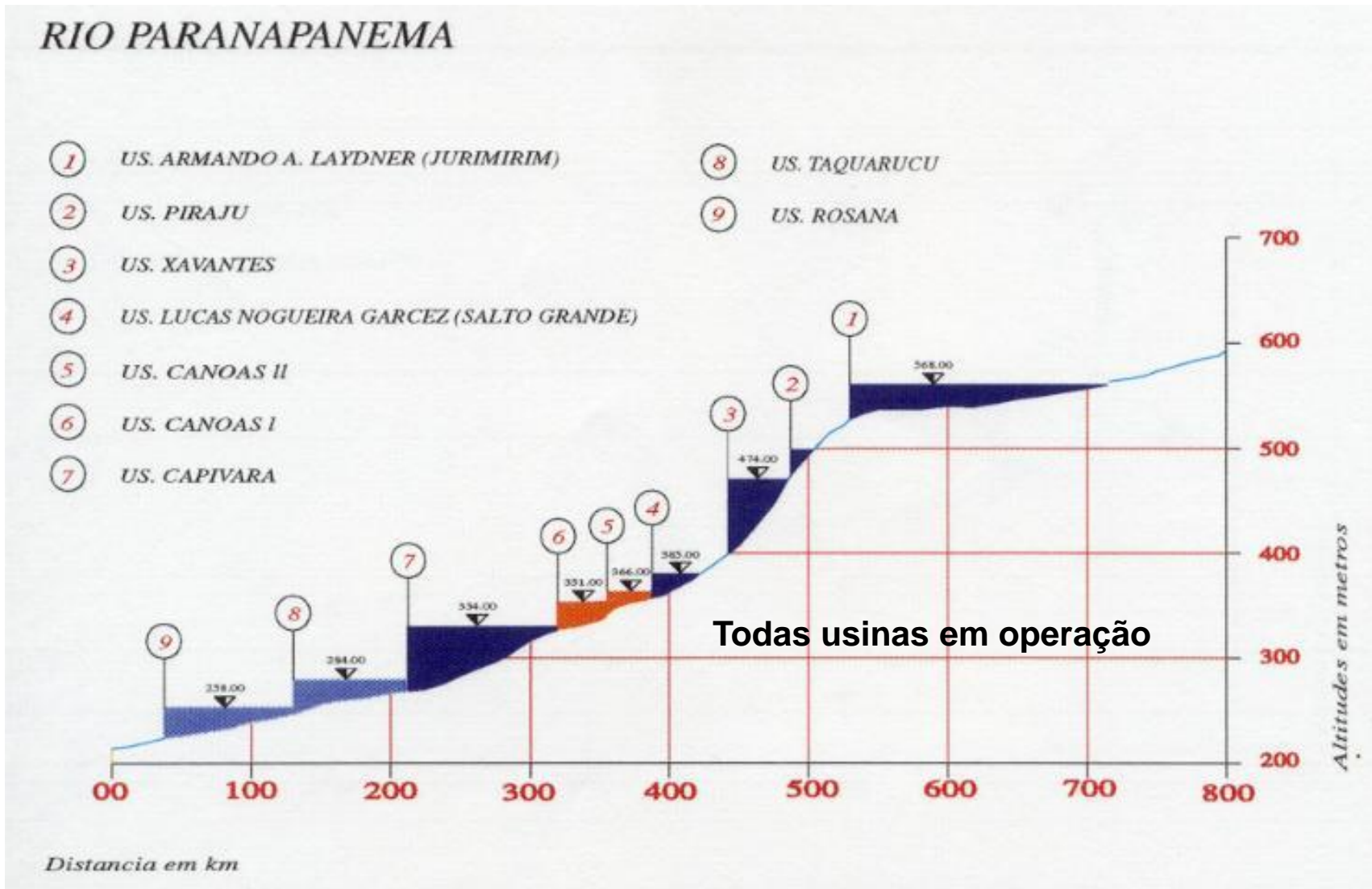
Usinas hidrelétricas
e estações
hidrométricas



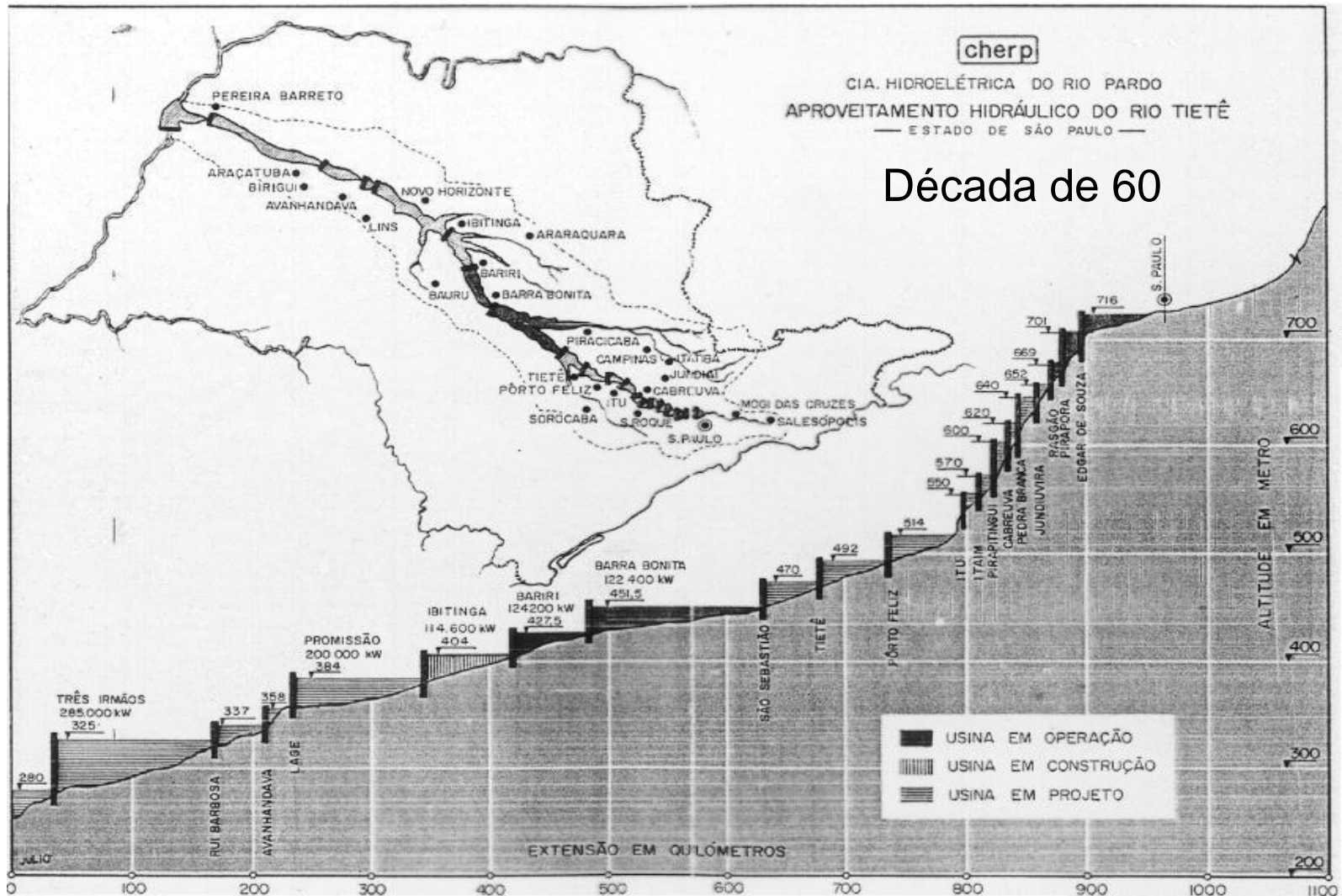
Aproveitamento hidráulico – Rio Paraná



Aproveitamento hidráulico – Rio Paranapanema



Aproveitamento hidráulico – Rio Tietê



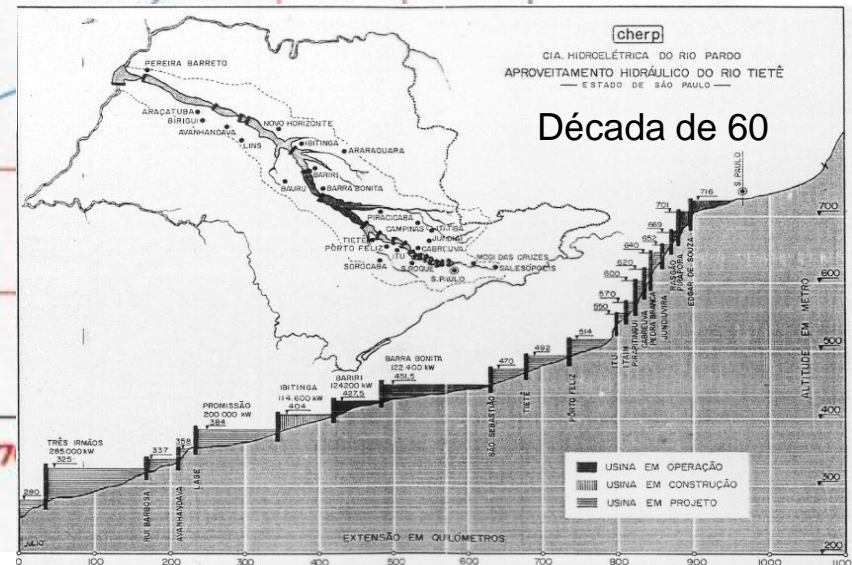
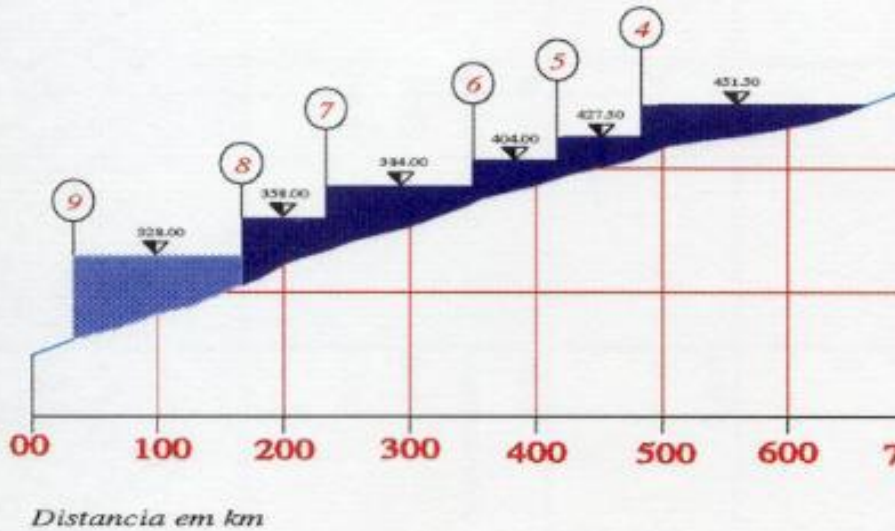
Aproveitamento hidráulico – Rio Tietê



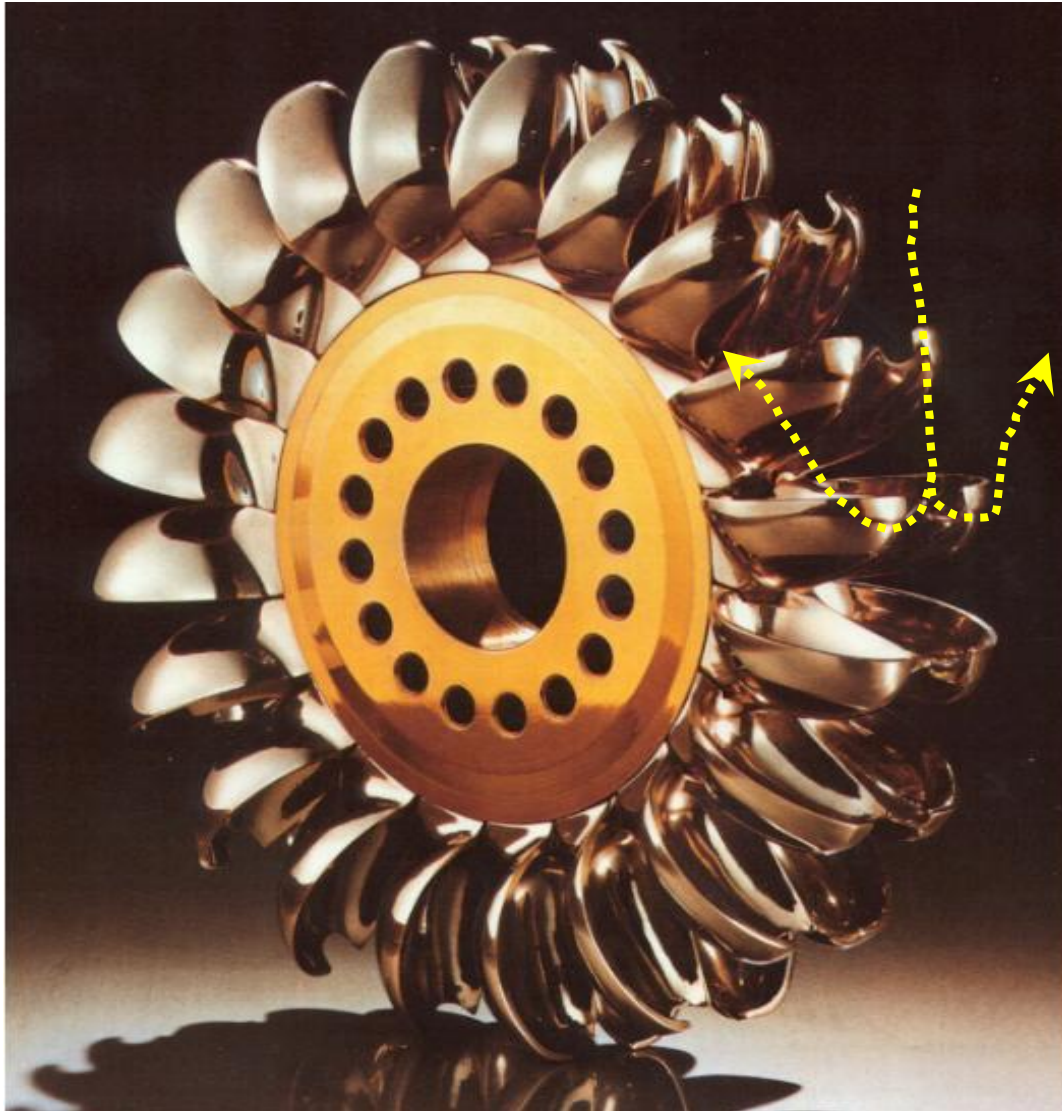
RIO TIETÊ

Todas usinas em operação

- | | | | |
|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
| 1 | US. EDGAR DE SOUZA | 7 | US. M. LOPES LEAO (PROMISSAO) |
| 2 | US. PIRAPORA | 8 | US. NOVA AVANHANDAVA |
| 3 | US. RASGAO | 9 | US. TRES IRMAOS |
| 4 | US. BARRA BONITA | | |
| 5 | US. A. DE SOUZA LIMA (BARIRI) | | |
| 6 | US. DE IBITINGA | | |



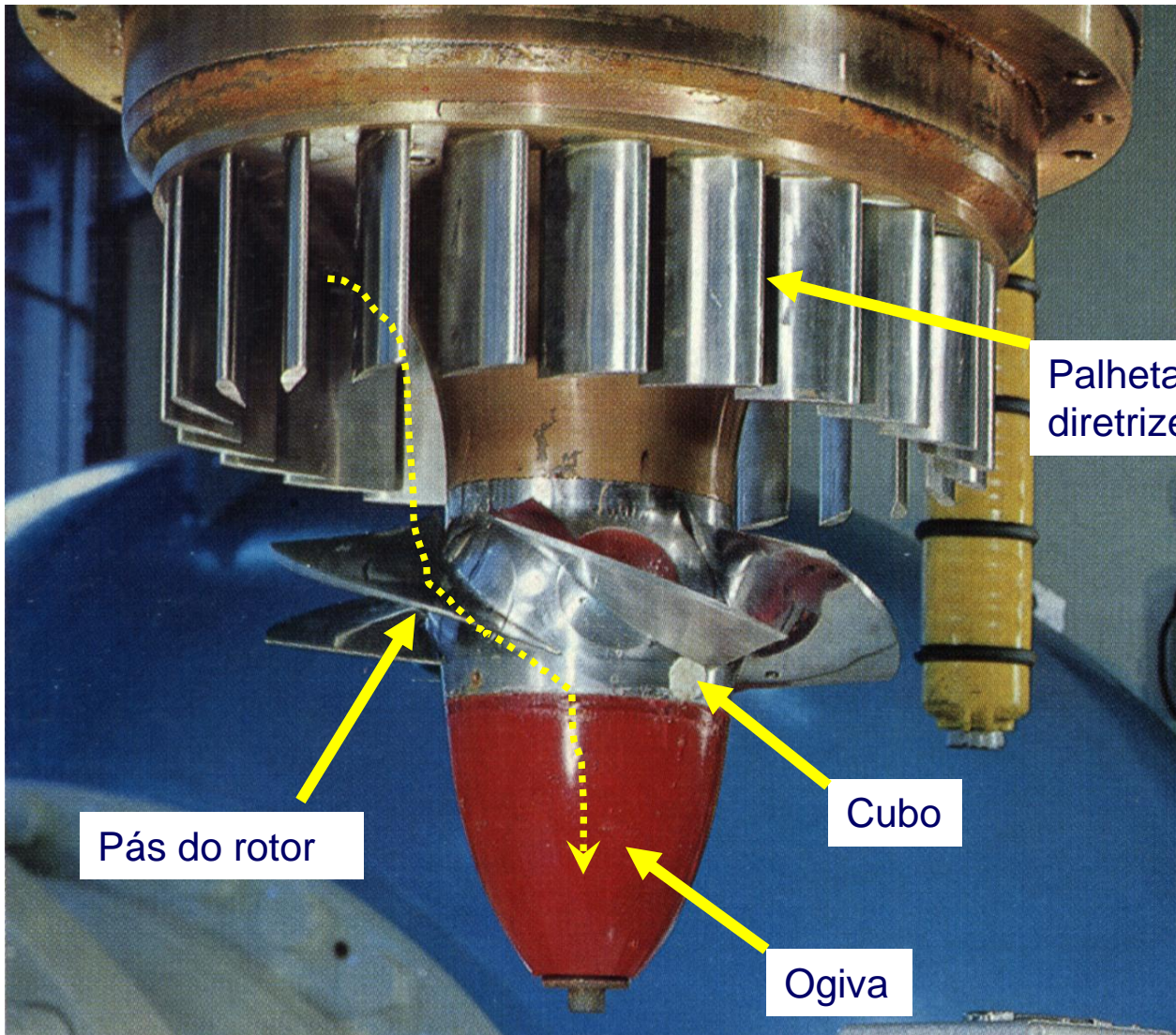
Turbina Pelton



Turbina Francis



Turbina Kaplan



Máquinas de fluxo – Formas alternativas



Solar → 1 kW/ m² (máximo)

Eólica → velocidade ≥ 4m/s

Energia marítima → ondas

→ marés

→ escoamento e térmica

Biomassa → Proálcool (BR)

Energia eólica



Idade média



Século XIX

Energia eólica



Atual

Vestas V236-15.0 MW



Power regulation operational data

Pitch regulated with variable speed

Rated power	15,000kW
Cut-in wind speed	3m/s
Cut-out wind speed	31m/s

ROTOR

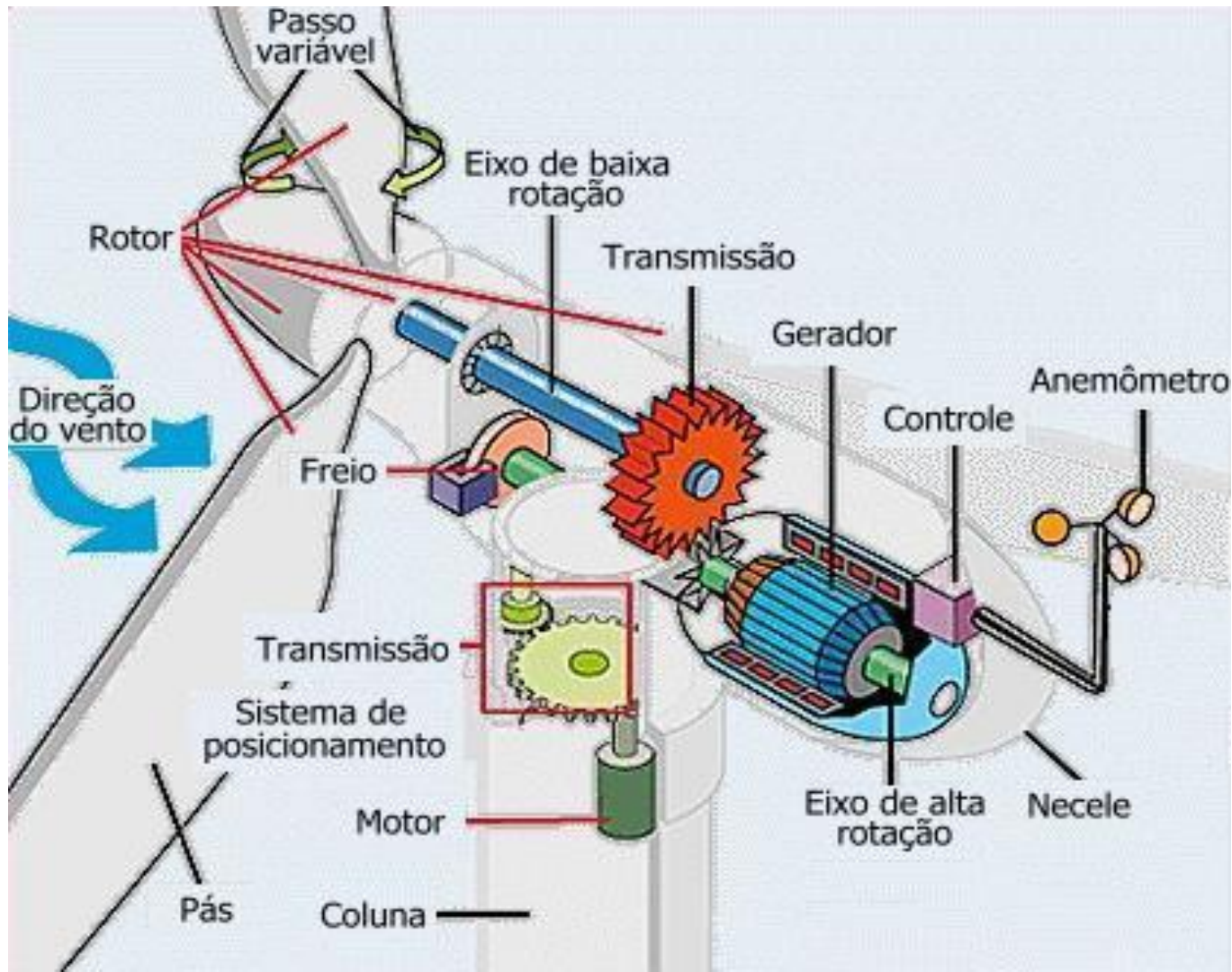
Rotor diameter	236m
----------------	------

SOUND POWER

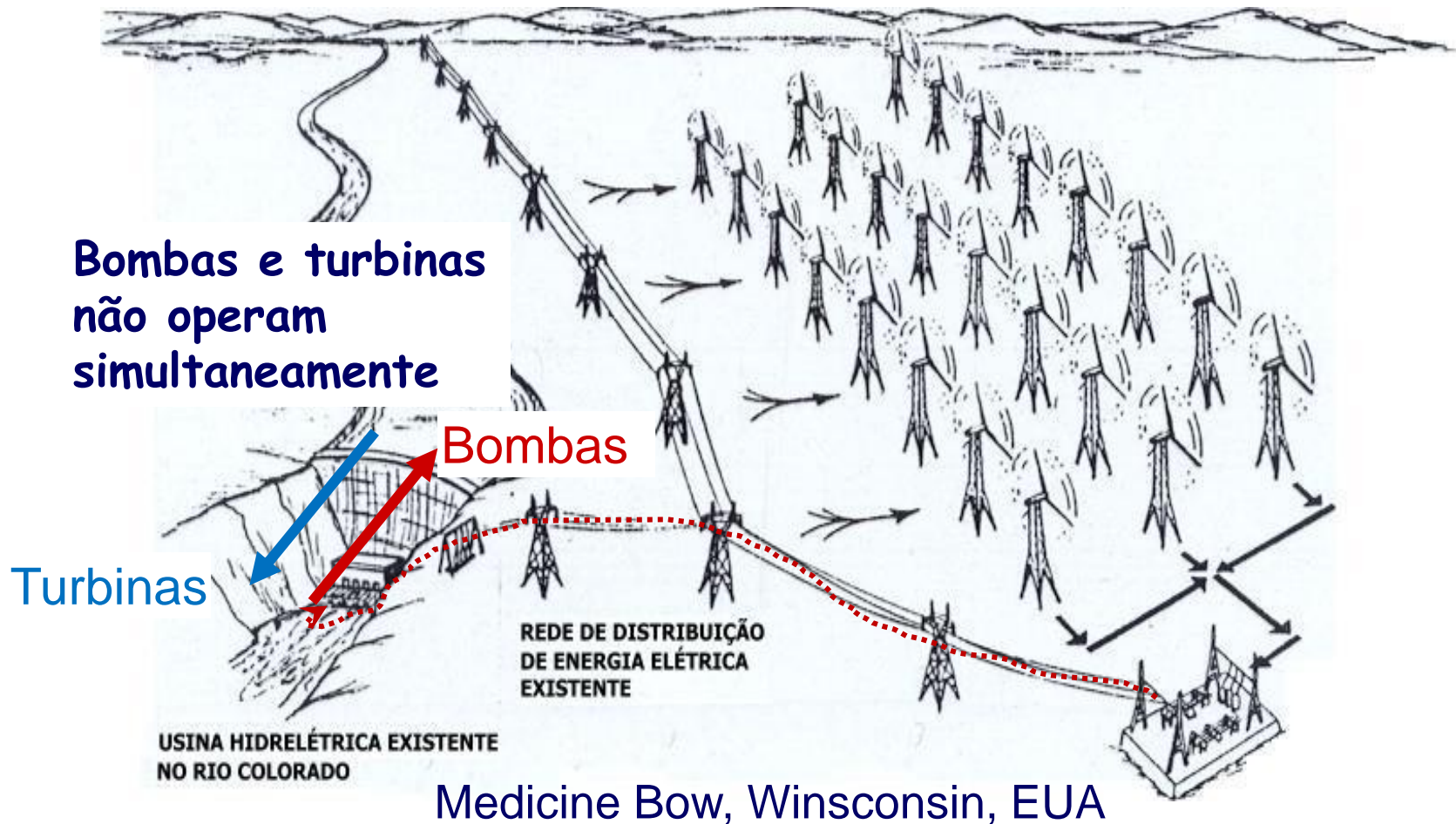
Maximum	115.3dB(A)
---------	------------

**Sound Optimised Modes dependent on site and country

Componentes de uma turbina eólica



Armazenamento sob a forma de energia hidráulica



Usina eólica Koudia al Baida, Marrocos



Fazenda eólica, EUA

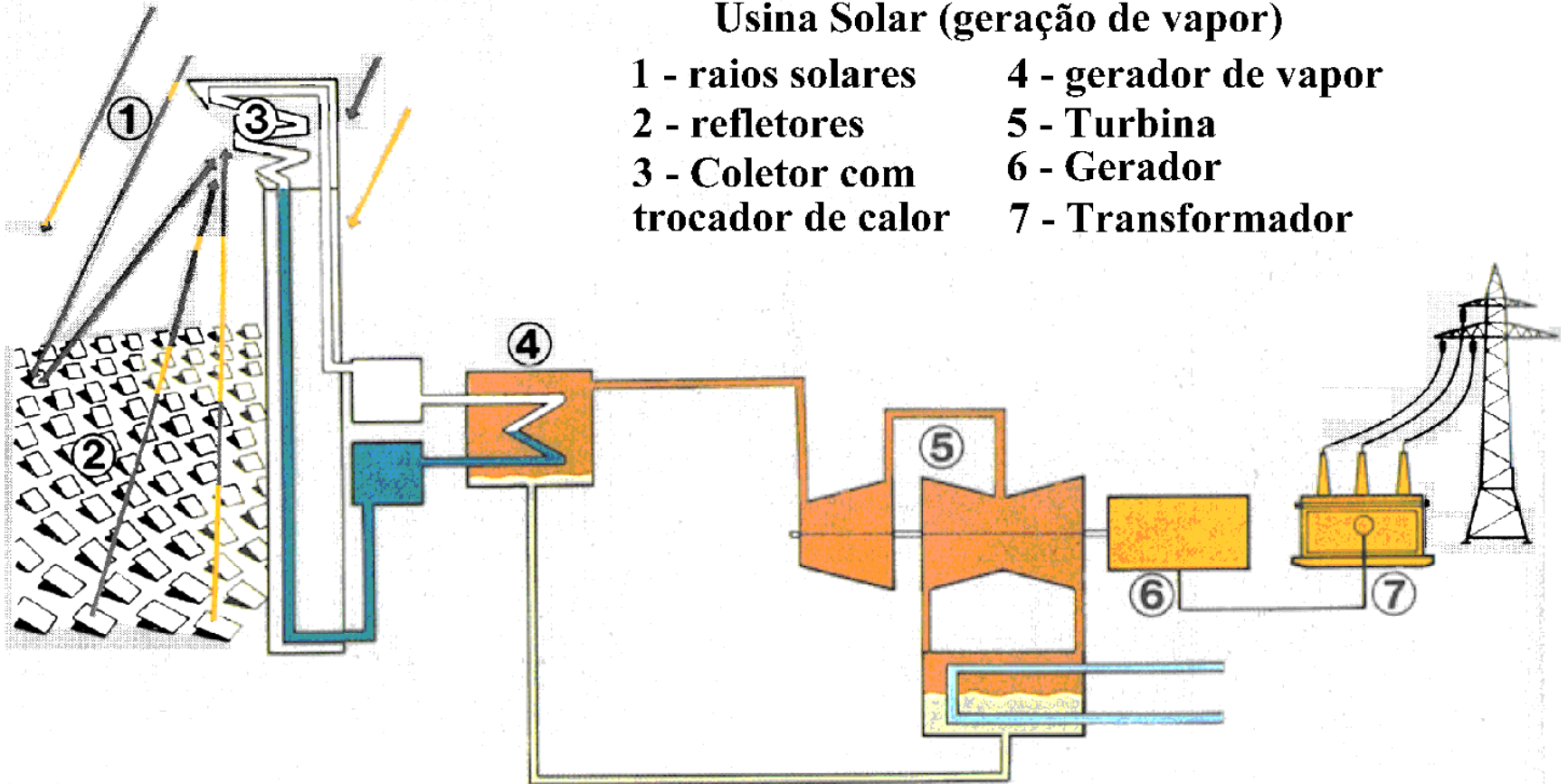


Fonte: Veja, 22.12.04 pg. 211



Usina Solar (geração de vapor)

- | | |
|-----------------------------------|----------------------|
| 1 - raios solares | 4 - gerador de vapor |
| 2 - refletores | 5 - Turbina |
| 3 - Coletor com trocador de calor | 6 - Gerador |
| | 7 - Transformador |

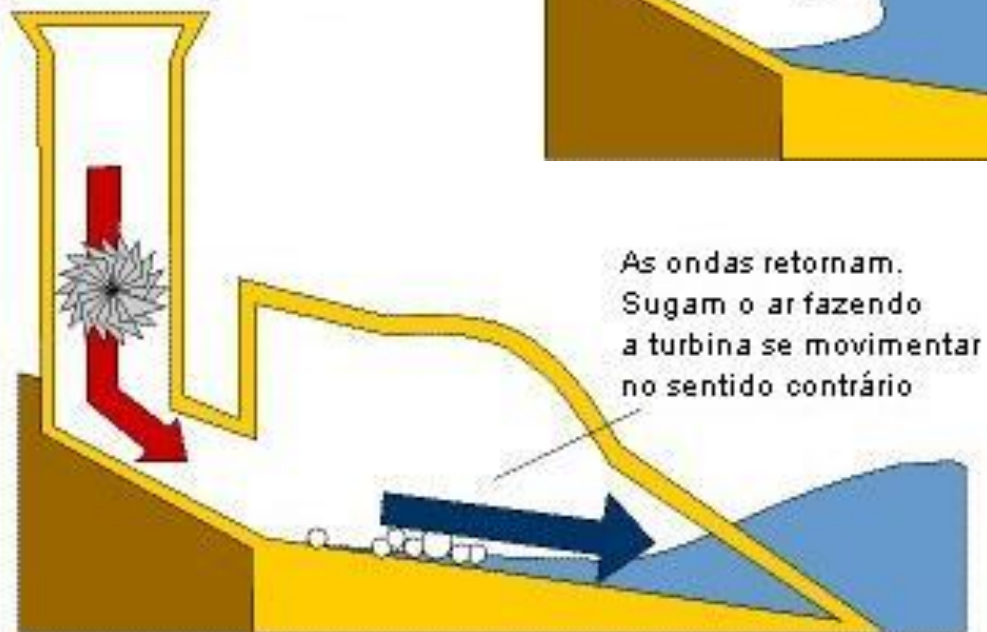
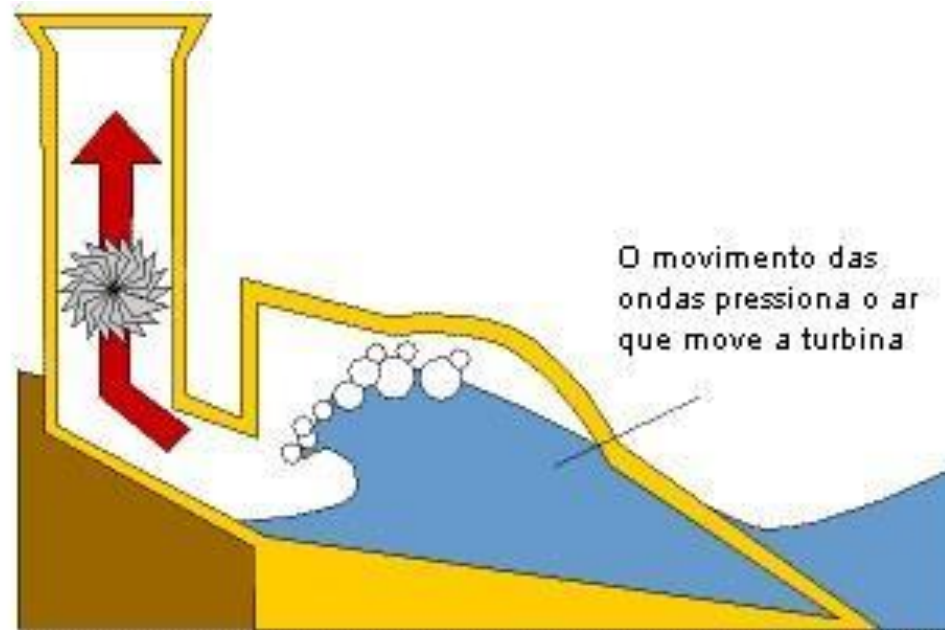


823125

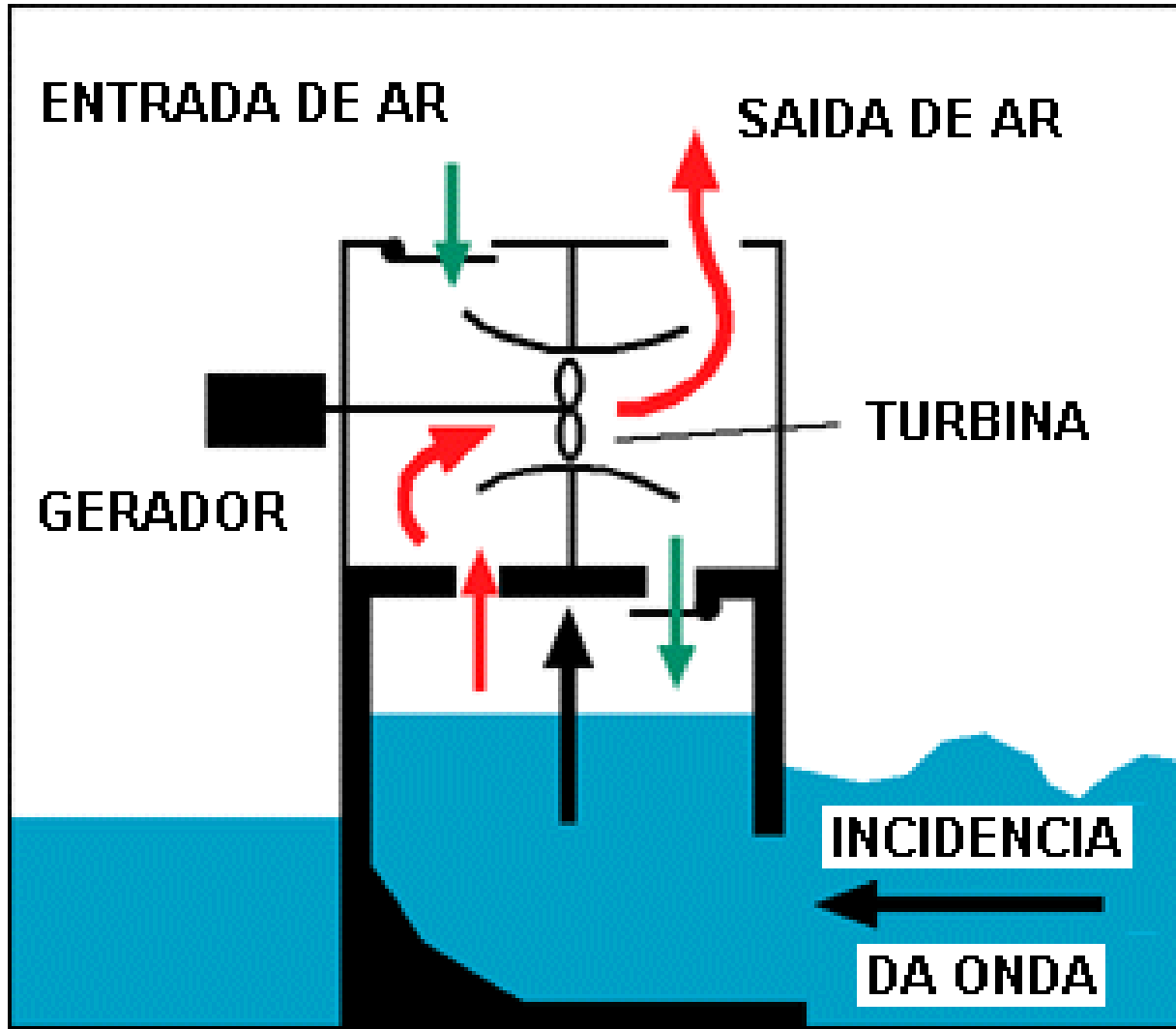
Usina termelétrica solar de Almeria (Espanha) 500 kW



Energia das ondas – Aproveitamento oceânico



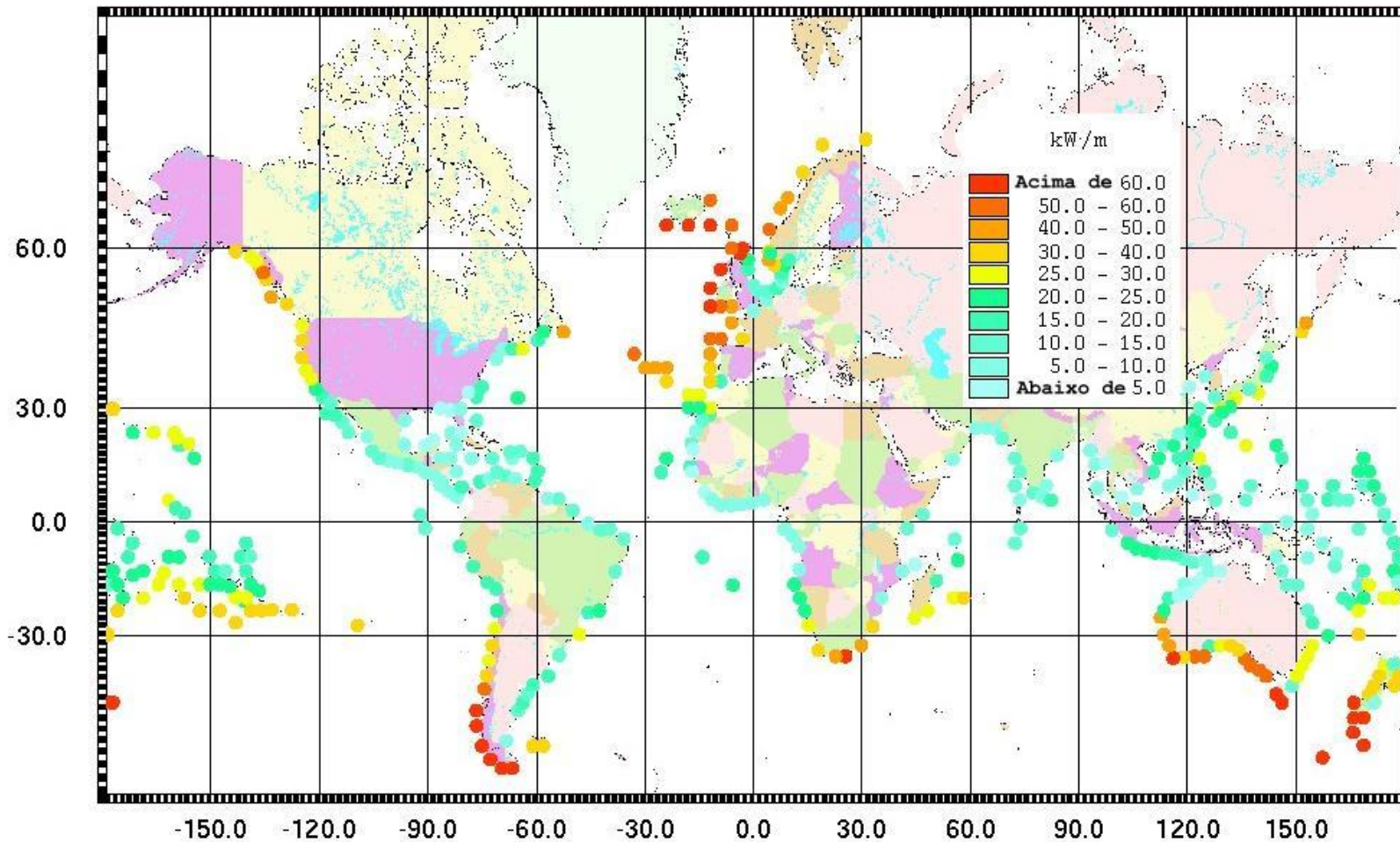
Energia das ondas – Aproveitamento oceânico



Energia das ondas – Aproveitamento oceânico

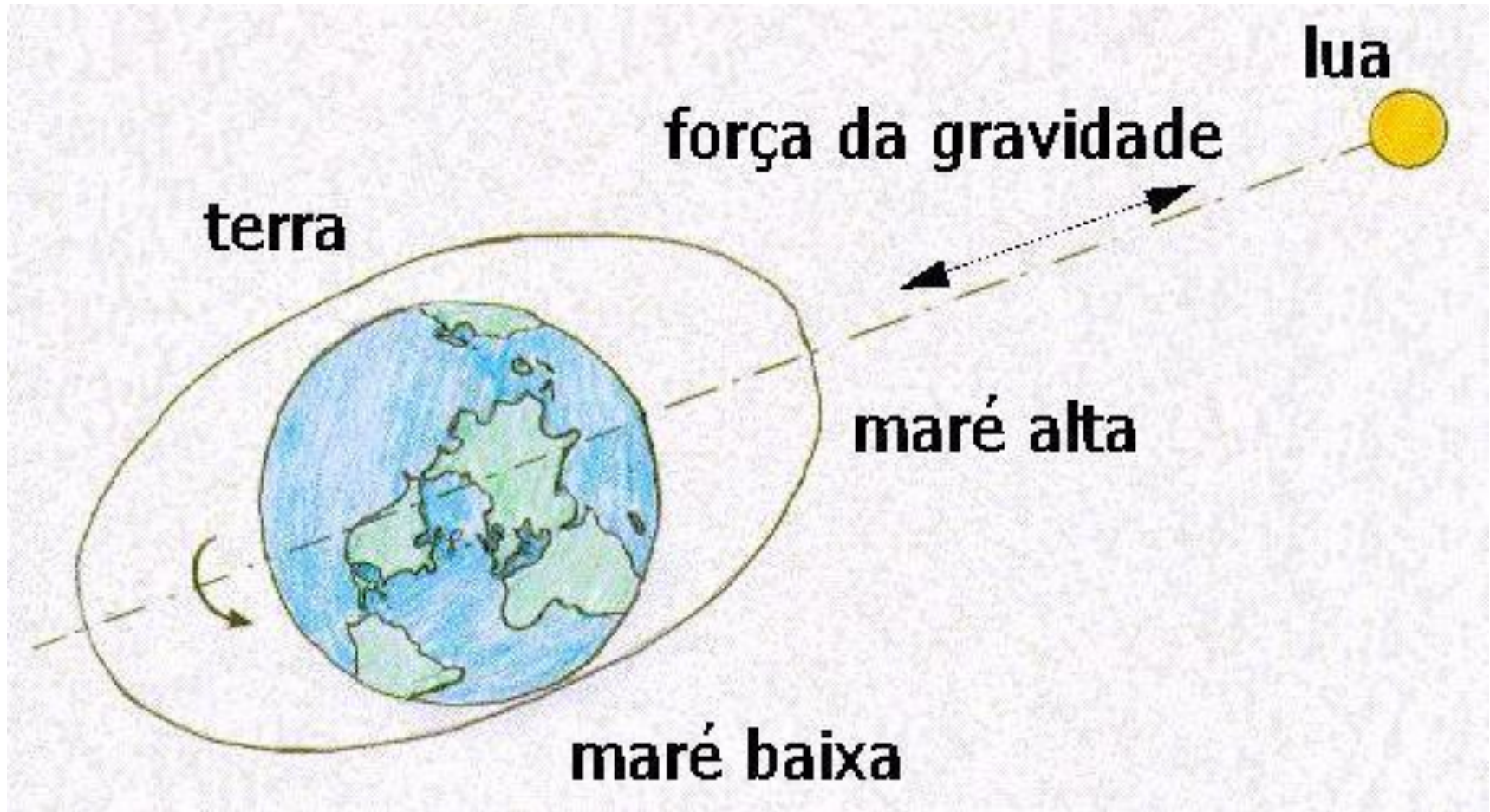


Energia das ondas – Aproveitamento oceânico



Potência por comprimento de crista das ondas, em kW/ m

Energia das marés – Aproveitamento oceânico

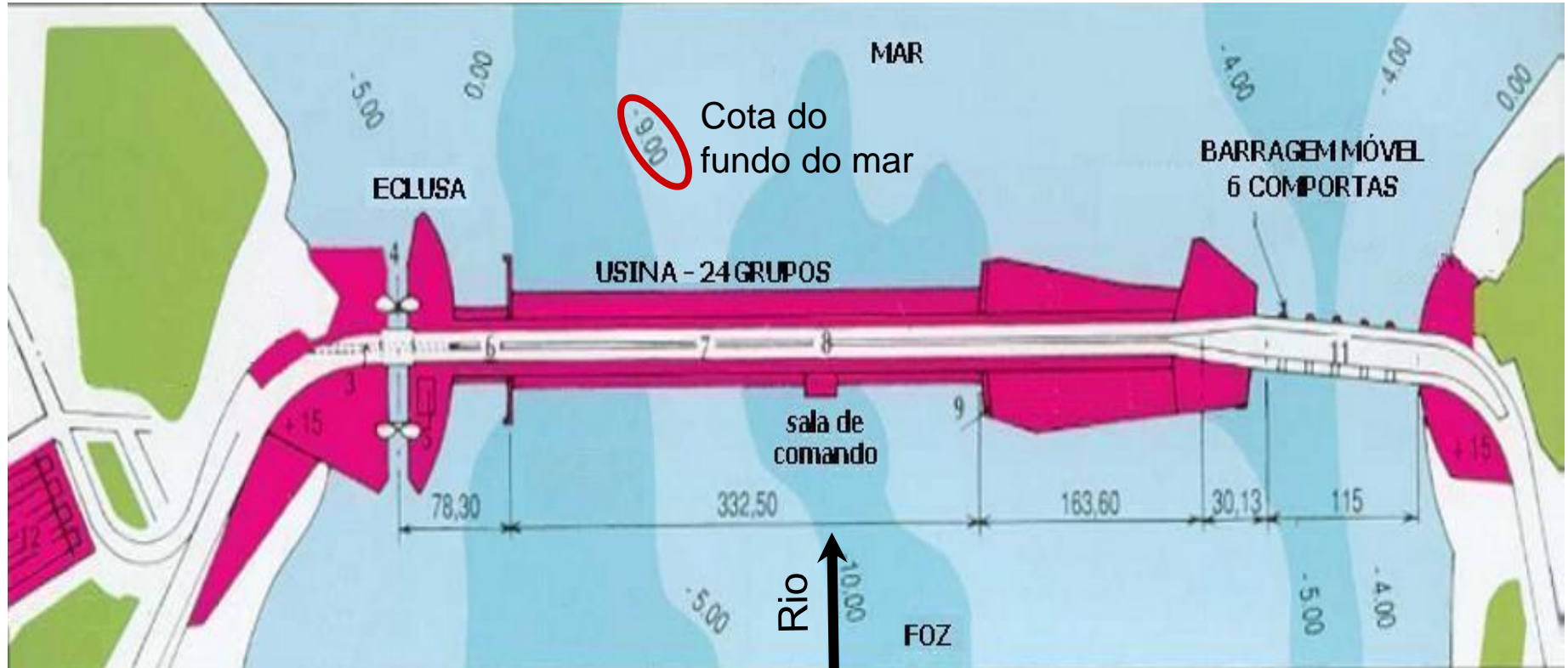


Energia das marés – Aproveitamento oceânico



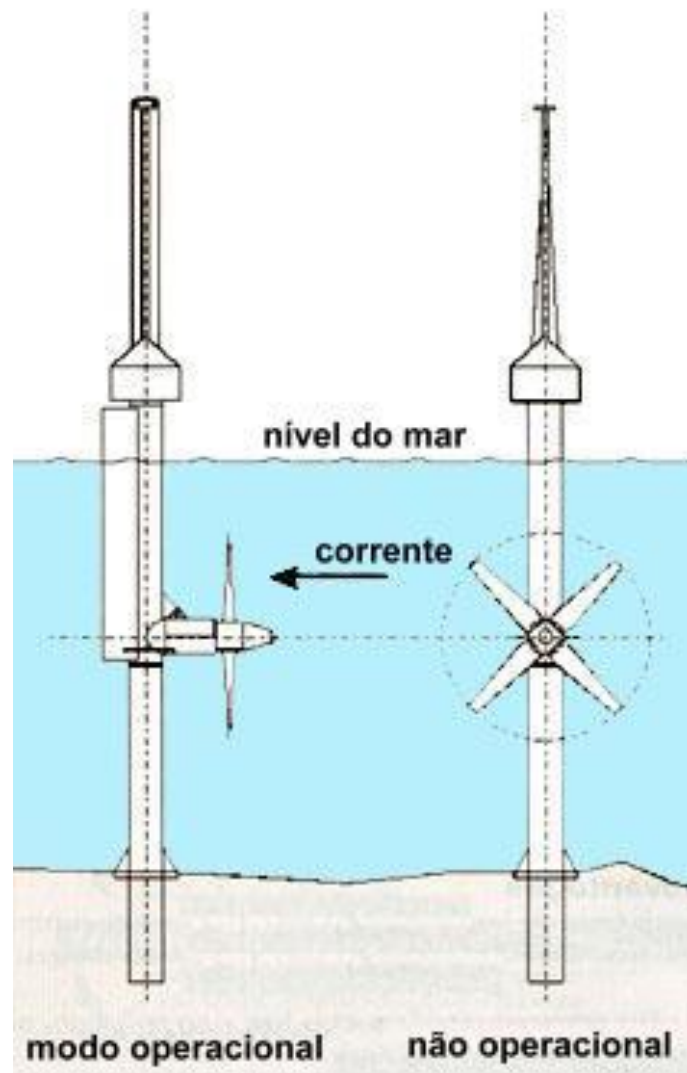
Usina maremotriz de La Rance, França

Energia das marés – Aproveitamento oceânico



Usina maremotriz de La Rance, França

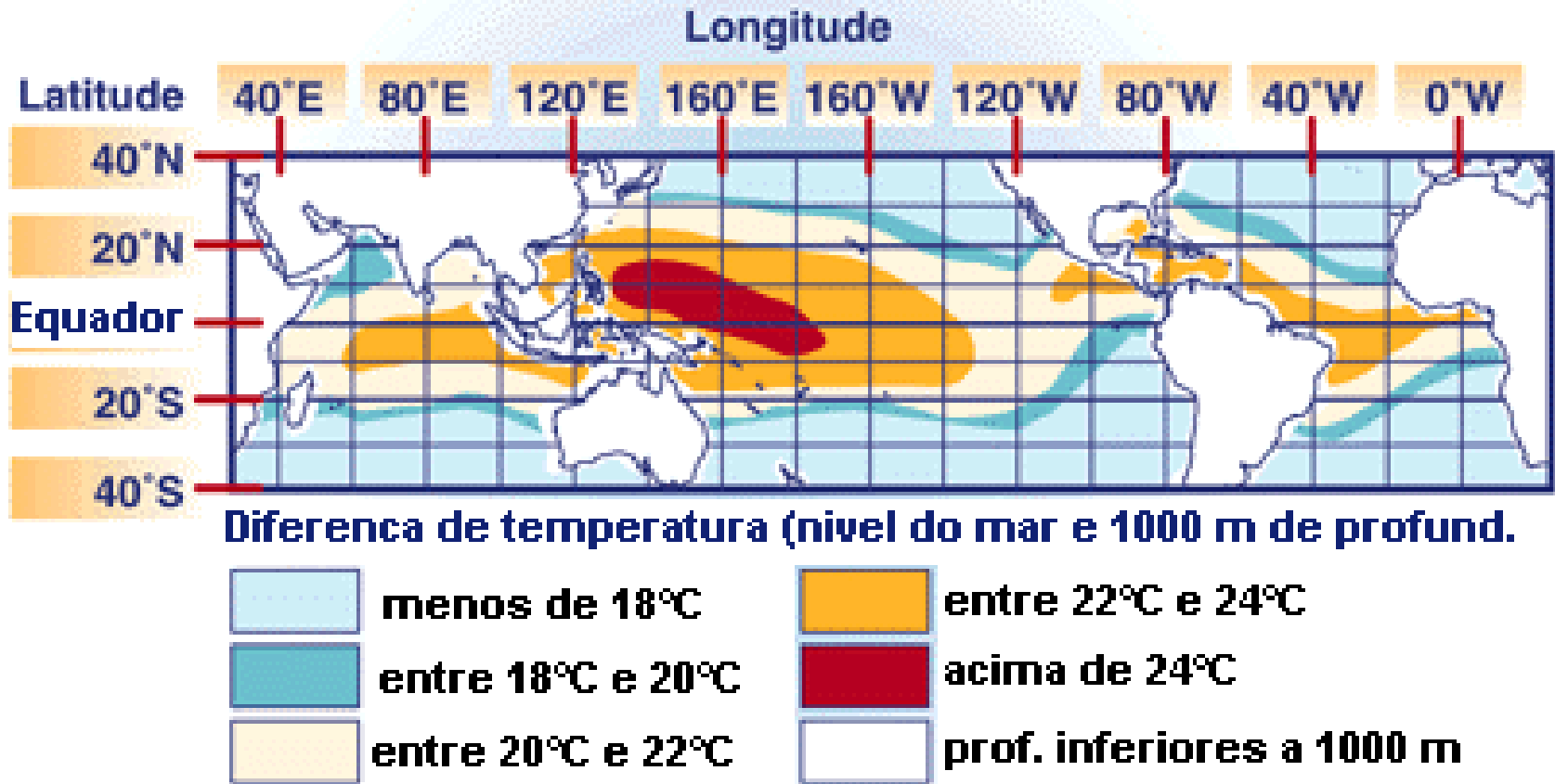
Energia das correntes – Aproveitamento oceânico



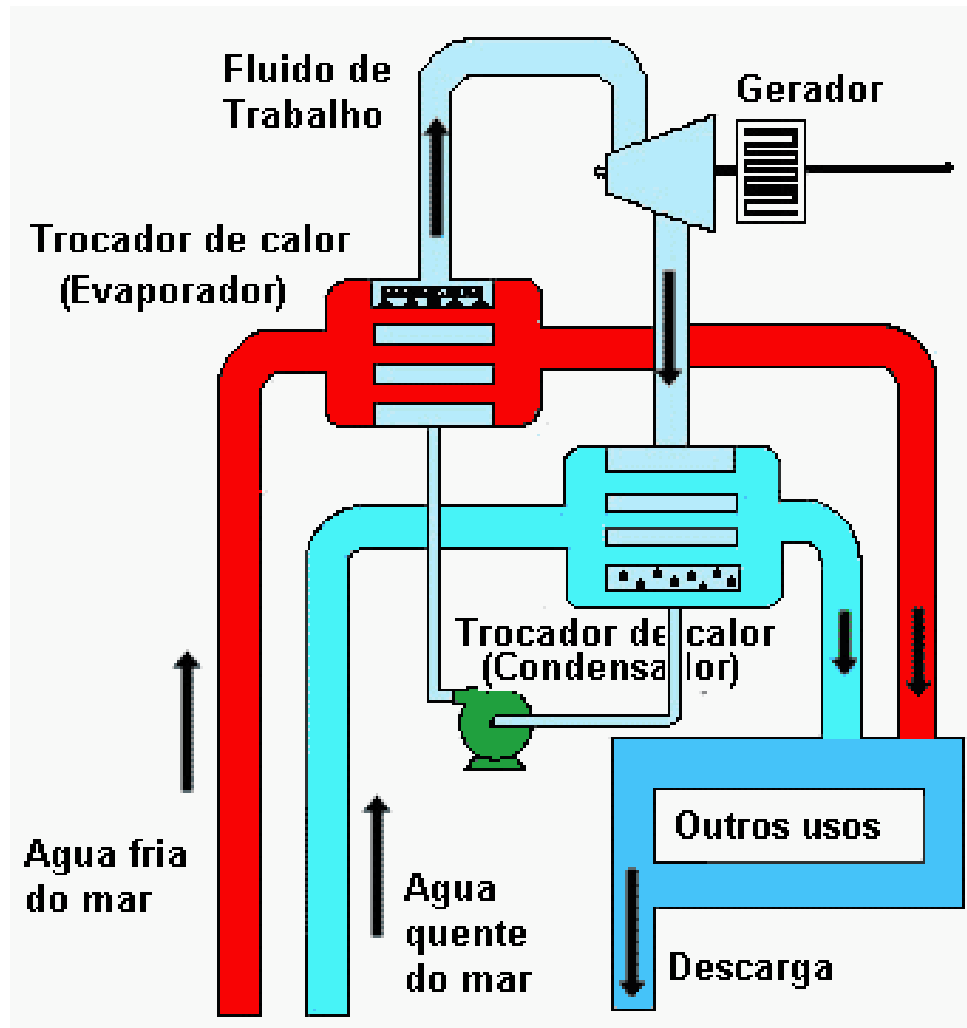
Energia das correntes – Aproveitamento oceânico



Energia térmica – Aproveitamento oceânico

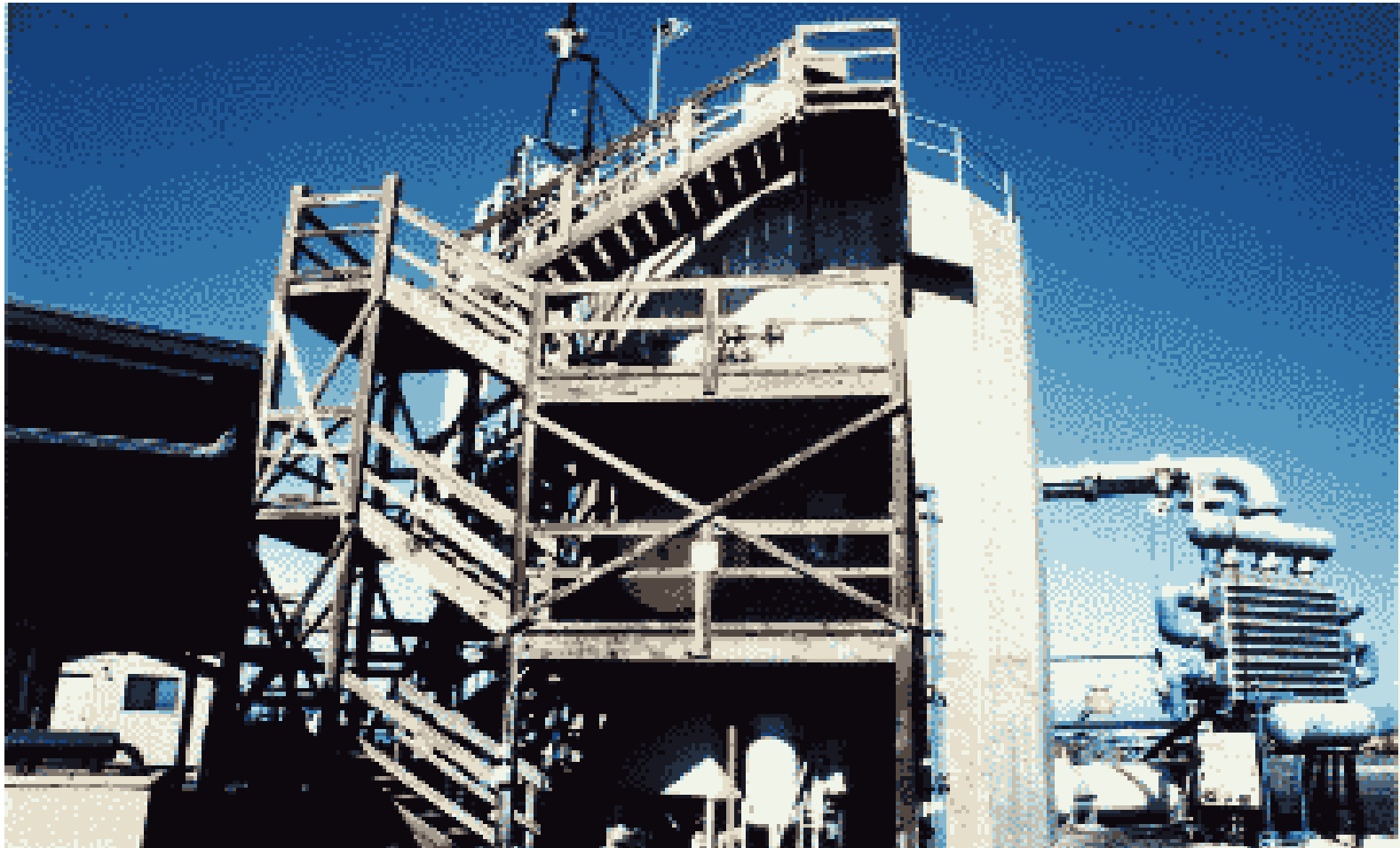


Energia térmica – Aproveitamento oceânico



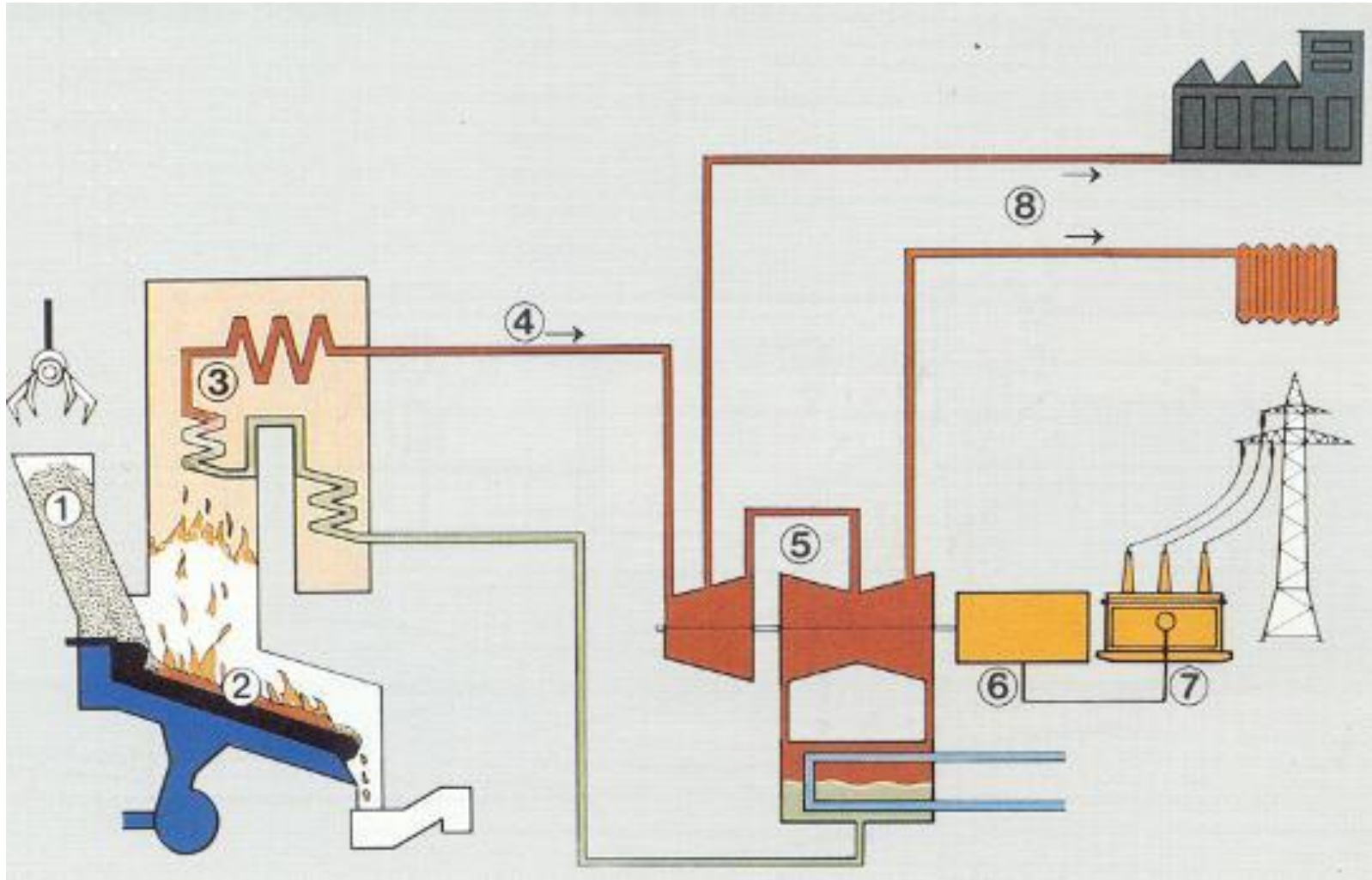
Ciclo térmico de aproveitamento

Energia térmica – Aproveitamento oceânico



Keahole Point, Havai, EUA

Energia de biomassa

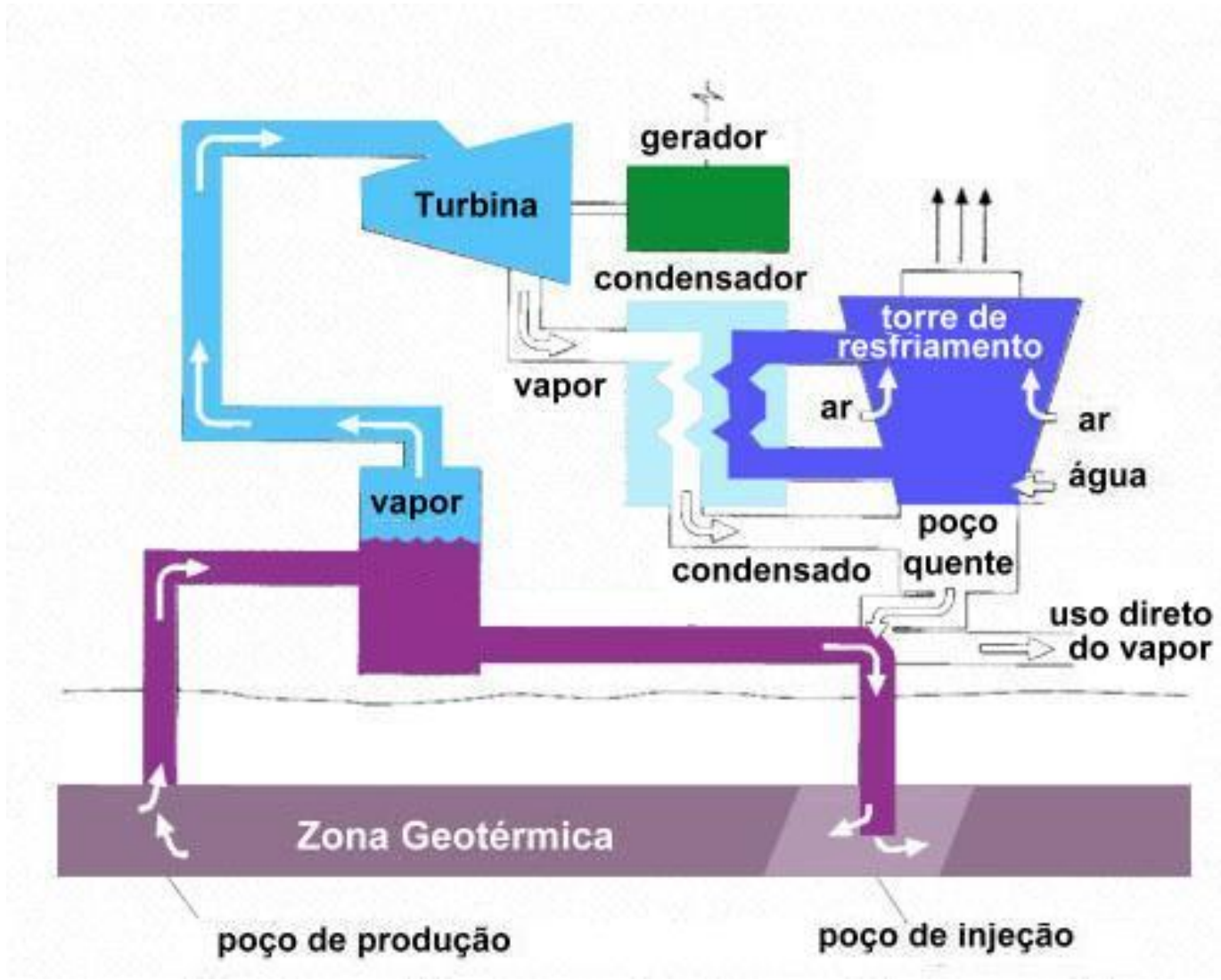


Energia de biomassa



Usina a bagaço de cana; Moule, Guadalupe

Energia geotérmica



Energía geotérmica



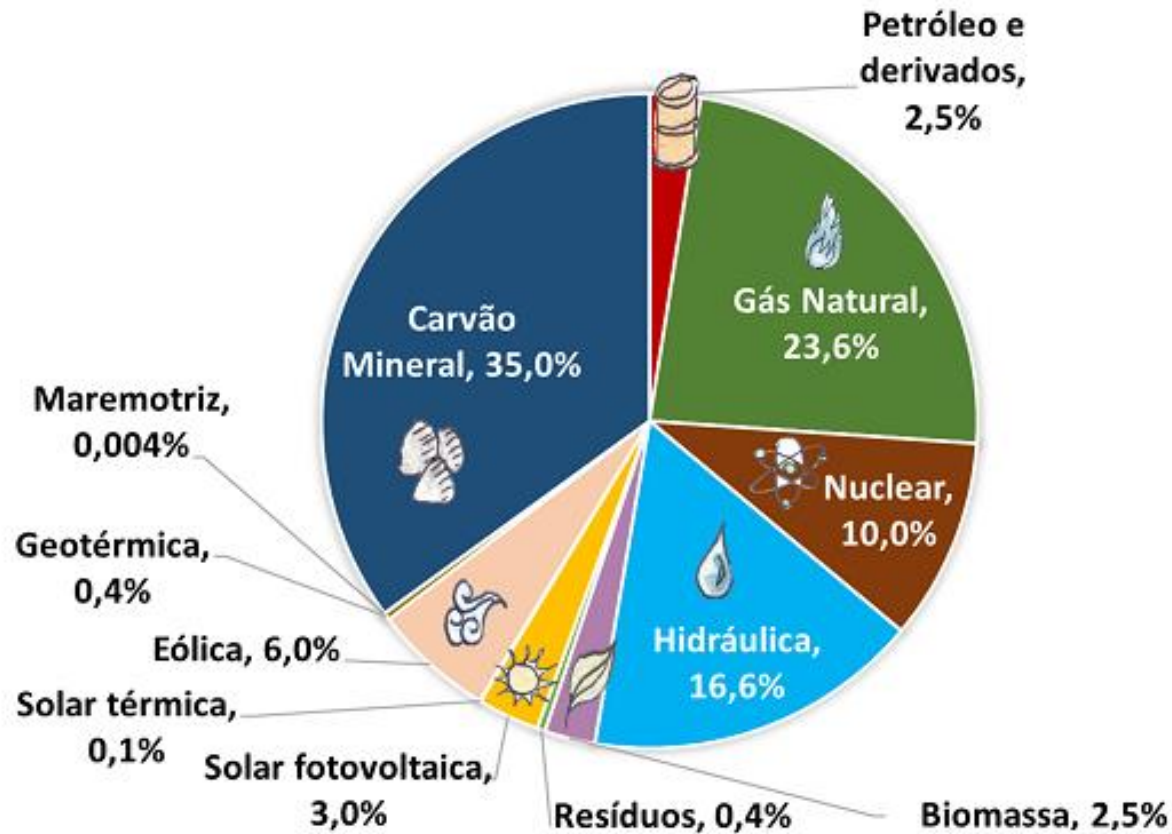
Califórnia, USA

Energia geotérmica



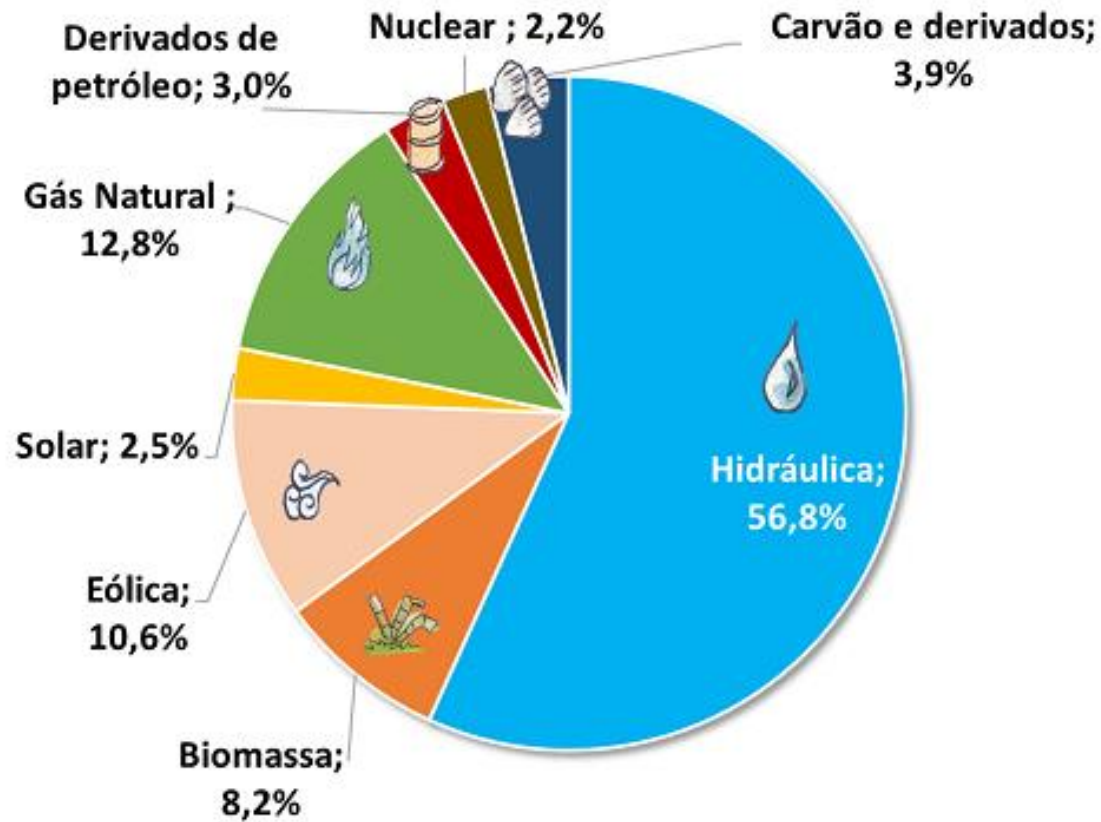
Nova Zelândia

Matriz elétrica mundial 2020



IEA, 2022; total: 27 milhões de GWh

Matriz elétrica brasileira 2021



BEN, 2022; total: 657 TWh

Rede de transmissão – Horizonte 2007



Horizonte 2007
(atualização março/2005)

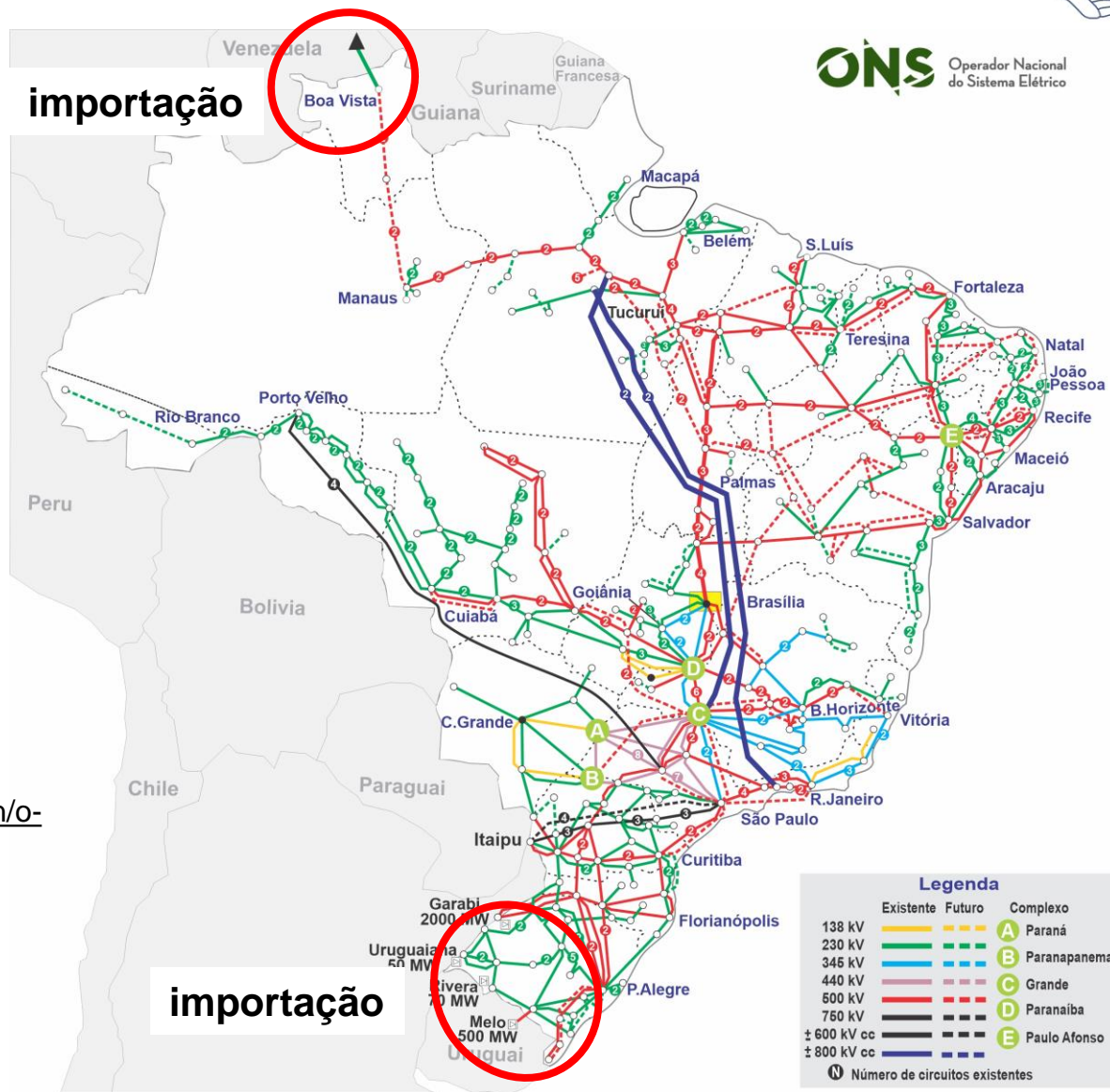


Rede de transmissão – Horizonte 2024



ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Extensão total das linhas de transmissão = 169.914 km (em 2021).



<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>

<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>



- Mineração de combustíveis sólidos
- Poluição das águas
- Ocupação de terras
- Resíduos sólidos
- Nível de ruído
- Estética local
- Prospecção de petróleo em plataforma
- Poluição das águas
- Poluição do ar
- Estética local (perto de praias)



Termelétricas

	A óleo e a gás	A carvão	Nuclear
Poluição das águas	+	+	++
Poluição do ar	+	+	+
Ocupação da terra	+	+	+
Resíduos sólidos		++	+
Estética local	+	+	+

+ significativo

++ muito significativo



Hidrelétricas

- Poluição das águas
- Ocupação de terras
- Estética local
- Danos à barragem
- Impacto social pelo deslocamento de populações
- Mudanças climáticas locais
- Abalos sísmicos
- Linhas de transmissão



Escada de peixes

Dúvidas?

Obrigado.



ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO