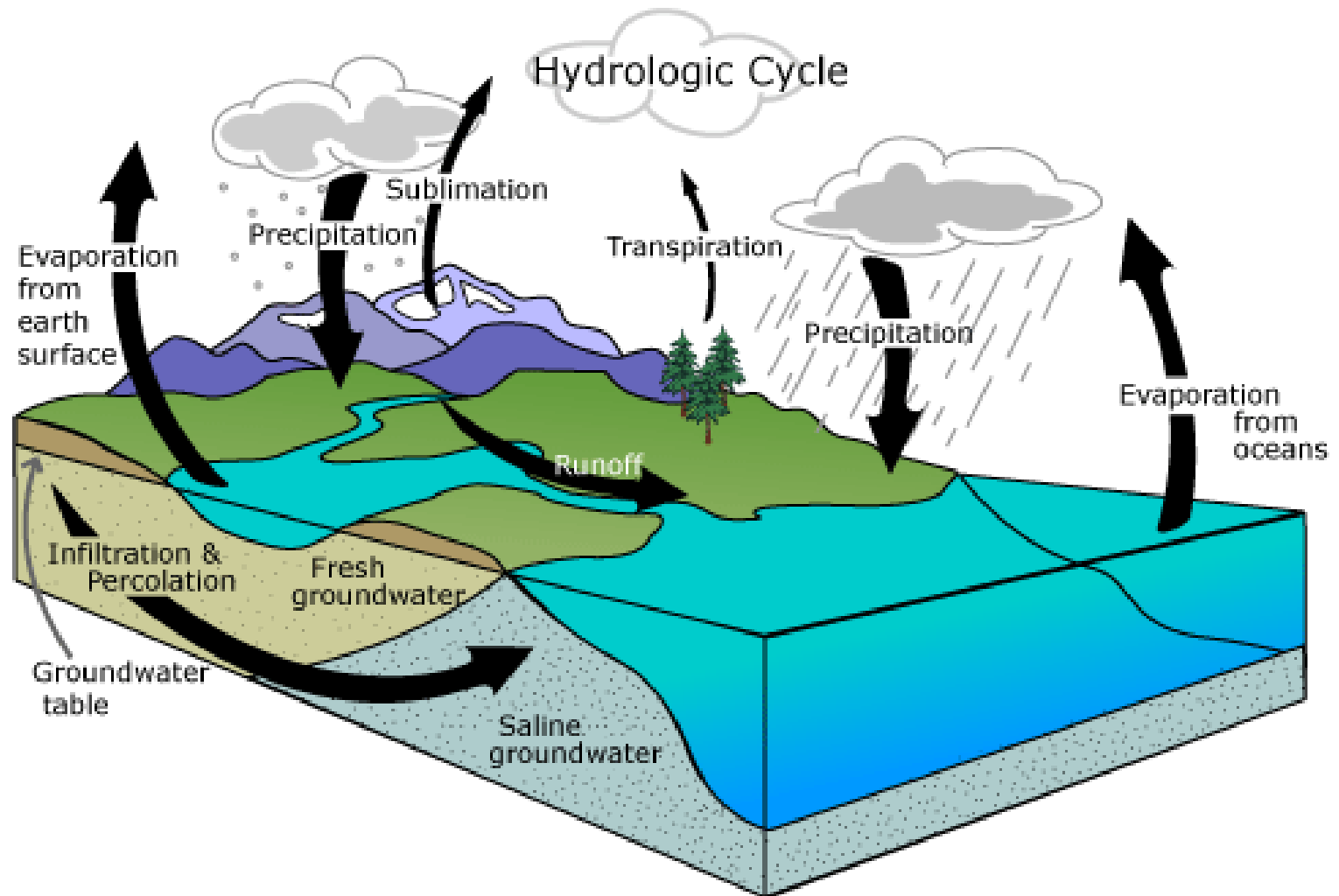


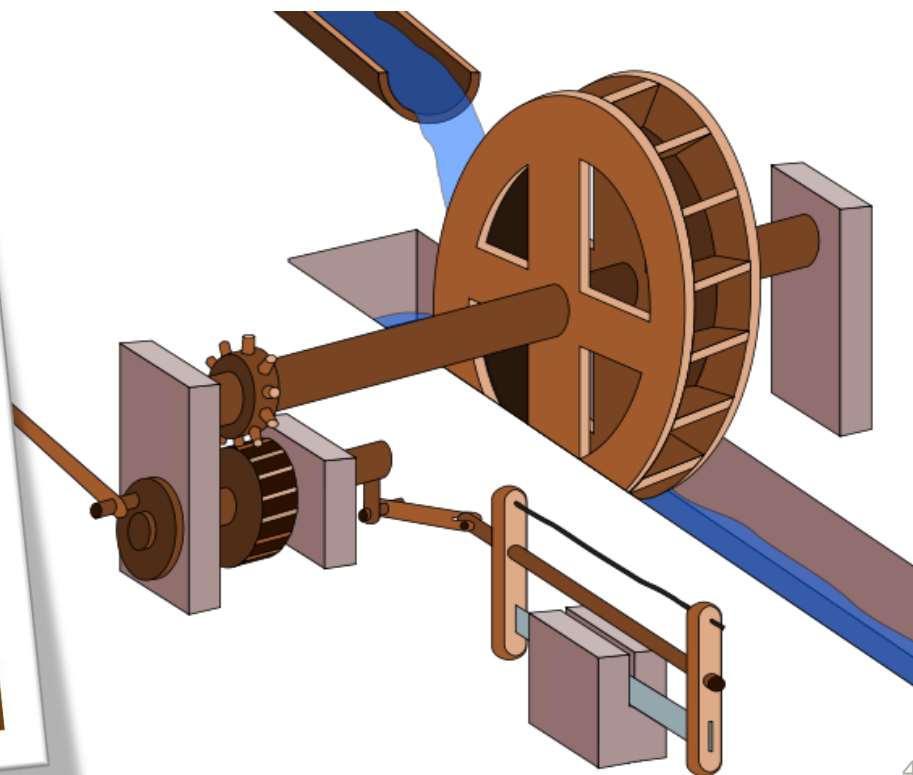
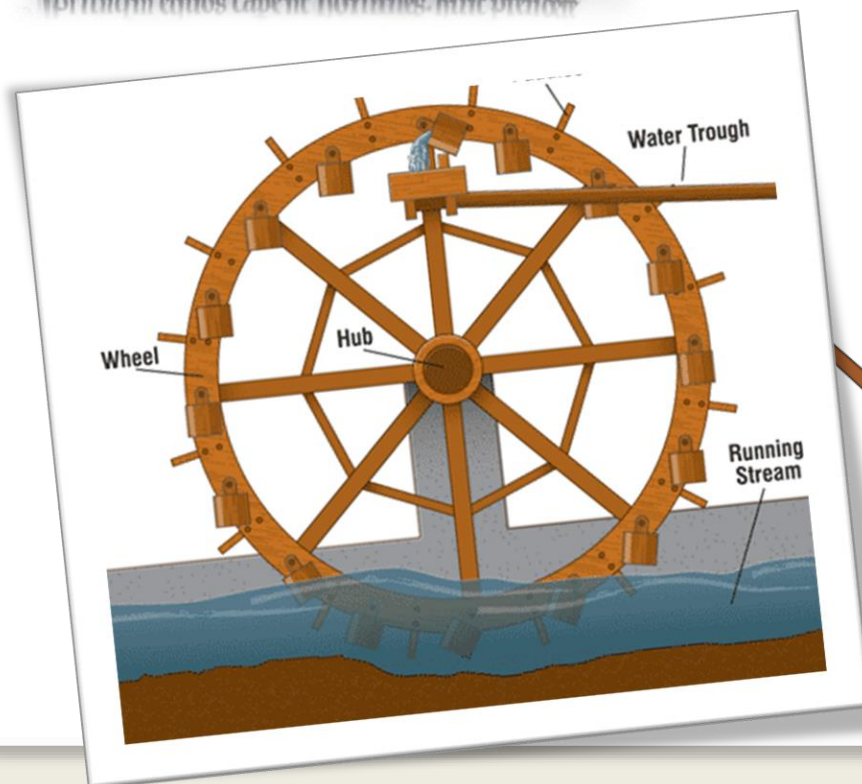
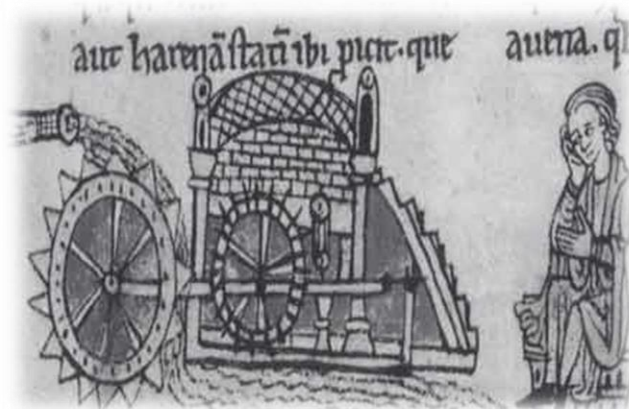


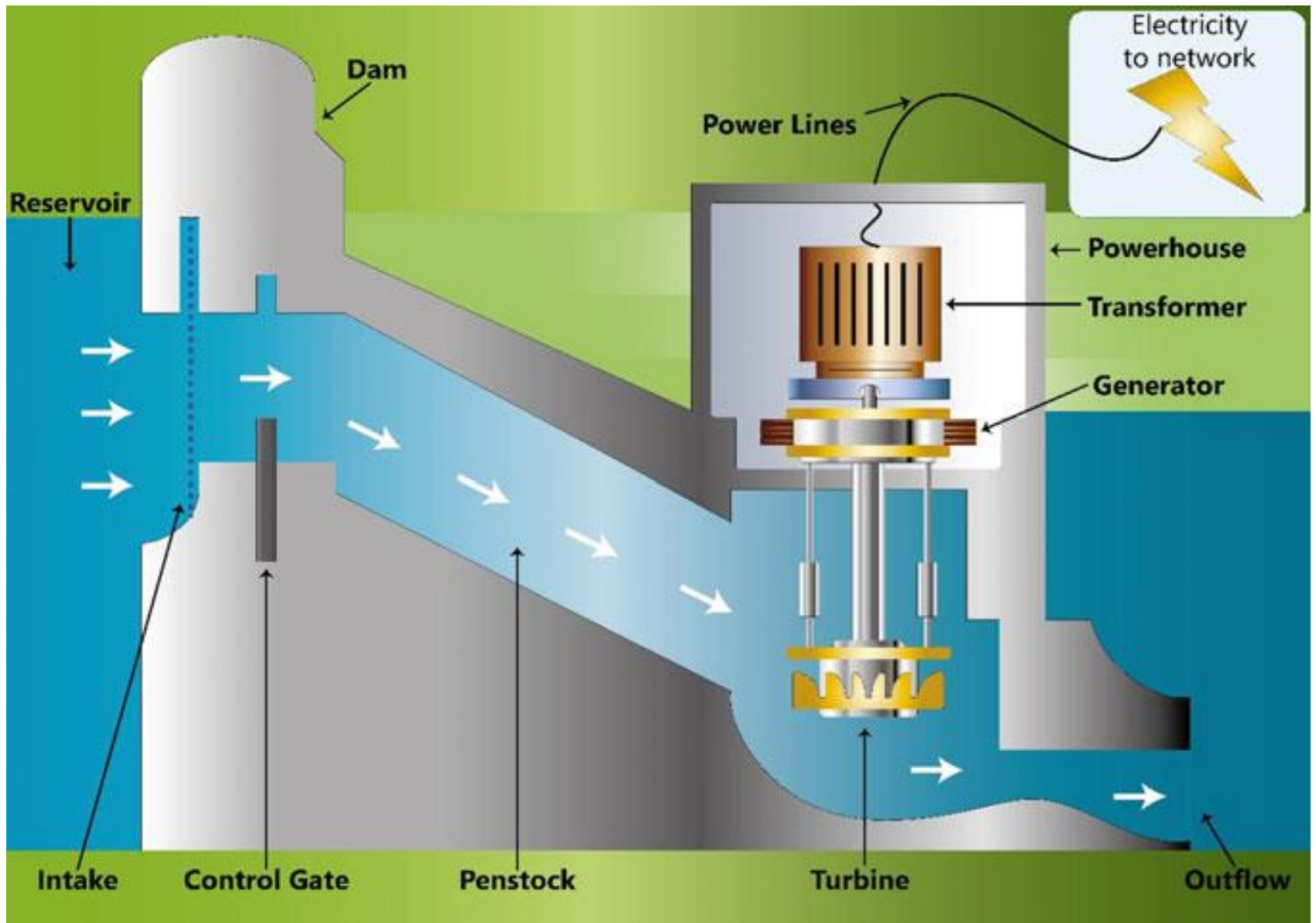
Energia hidroelétrica

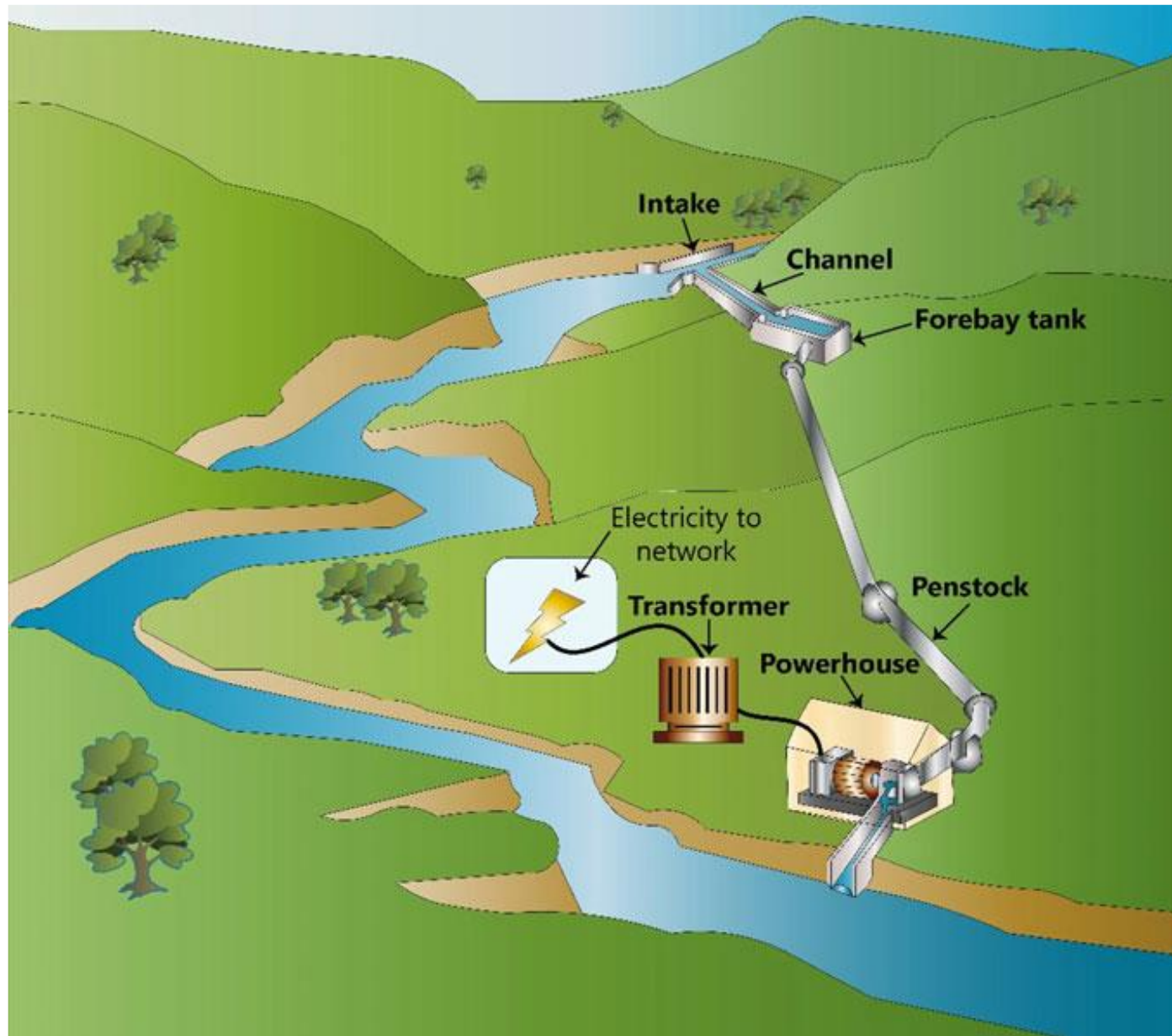
Energias Renováveis

Miguel Centeno Brito









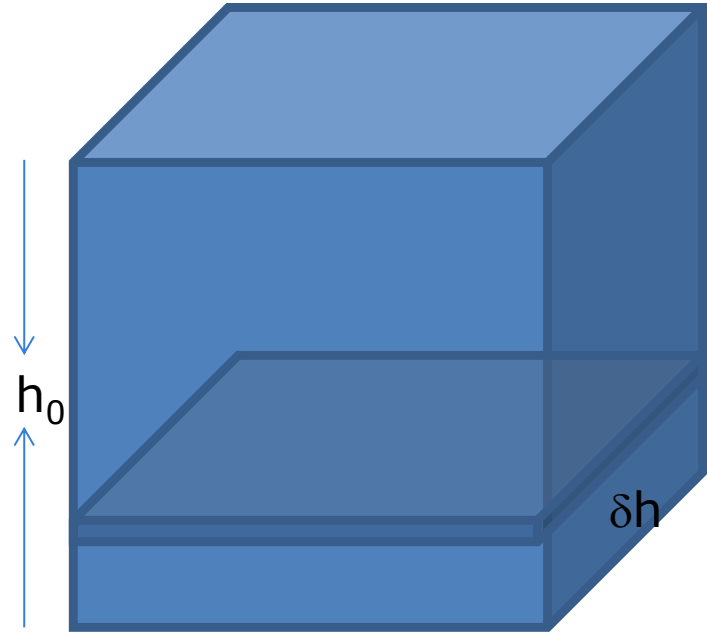
ENERGIA HÍDRICA

Qual a energia potencial gravítica num volume de água?

$$dE_p = (dm)gh = (\rho A dh)$$

$$E_p = \int_0^{h_0} dE_p dh = \int_0^{h_0} \rho A g h dh$$
$$= \rho A g \frac{h_0^2}{2} = \rho (A h_0) g \frac{h_0}{2}$$

$$E_p = \frac{1}{2} \rho V g$$



e.g. Alqueva

Área 250 km²

Diferença cota máxima – mínima = 13m

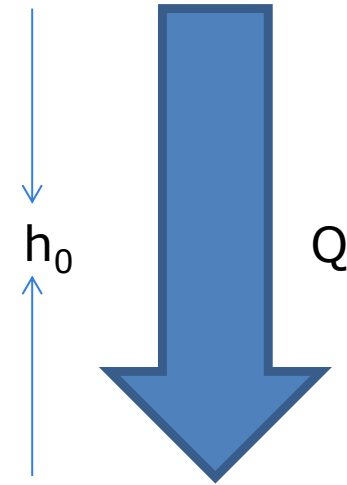
Capacidade armazenamento 5 GWh

ENERGIA HÍDRICA

Qual a potência mecânica de um curso de água?

$$P_m = \rho g Q h_0$$

$$\left[W = \frac{kg}{m^3} \frac{m}{s^2} \frac{m^3}{s} m \right]$$



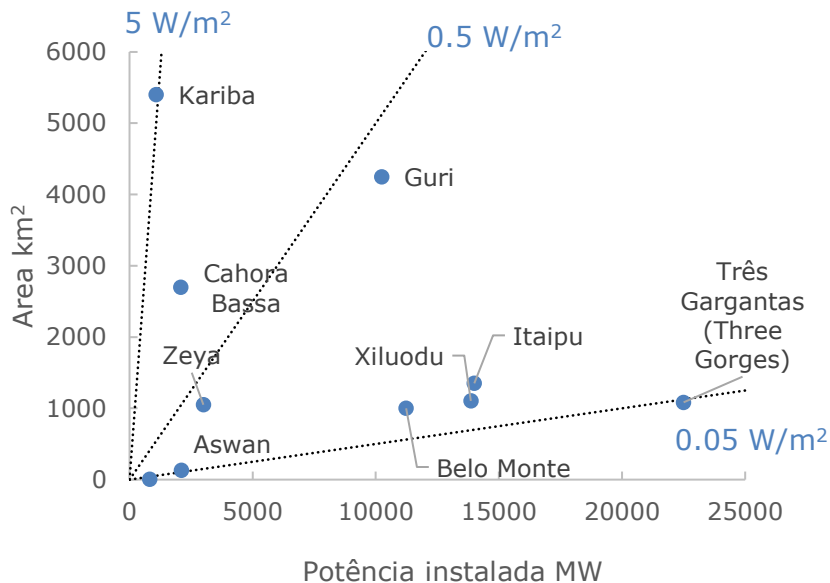
Qual a potência eléctrica produzida por de um curso de água?

$$P_e = \eta_t \eta_e \rho g Q h_0$$

eficiência da turbina (80%) x eficiência gerador (98%)

ENERGIA HÍDRICA

Densidade de potência: muito variável de **0.05 a 5 W/m²**

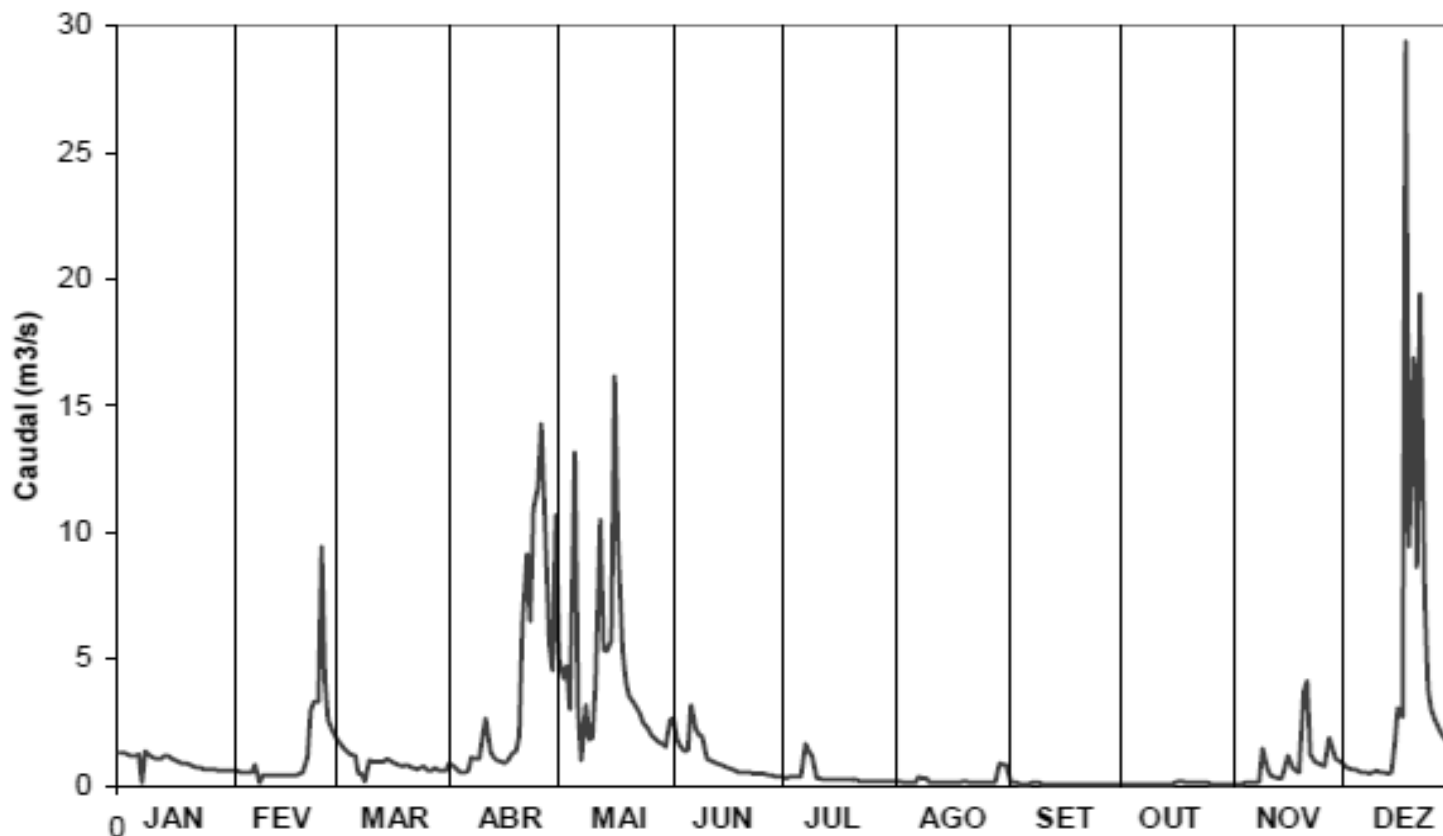


Barragem	Potência Instalada (MW)	Área da Albufeira (km²)	Localização
Três Gargantas	22500	1084	China
Itaipu	14000	1350	Brasil/Paraguai
Xiluodu	13860	1104	China
Guri	10235	4250	Venezuela
Belo Monte	11233	1000	Brasil
Zeya	3000	1050	Rússia
Cahora Bassa	2075	2700	Moçambique
Kariba	1080	5400	Zâmbia/Zimbabué
Aswan	2100	132	Egito
Oroville	819	3.2	Estados Unidos

ENERGIA HÍDRICA

Curva (média) de duração de caudais (médios diários)

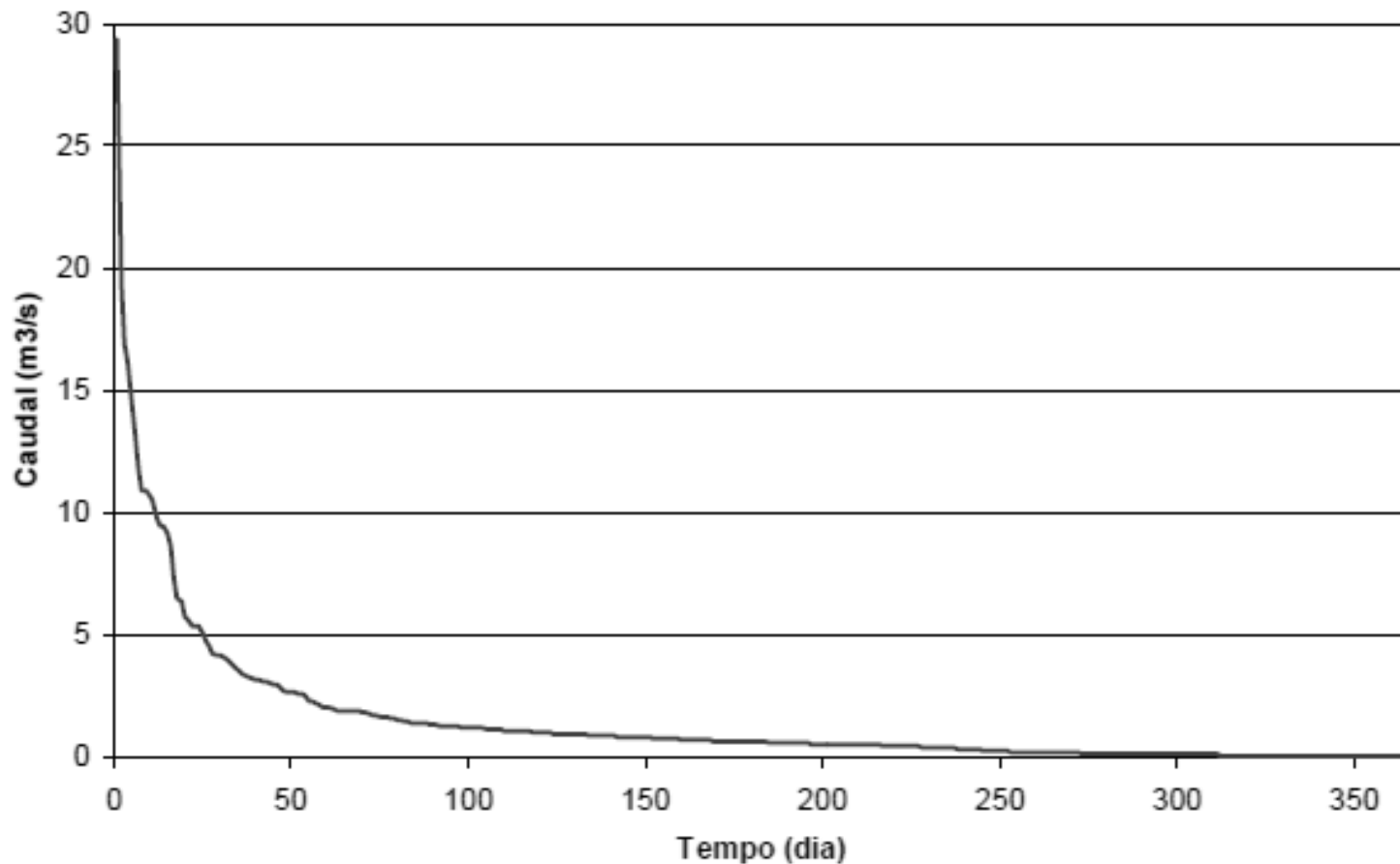
Na realidade o caudal não é constante.



ENERGIA HÍDRICA

Curva (média) de duração de caudais (médios diários)

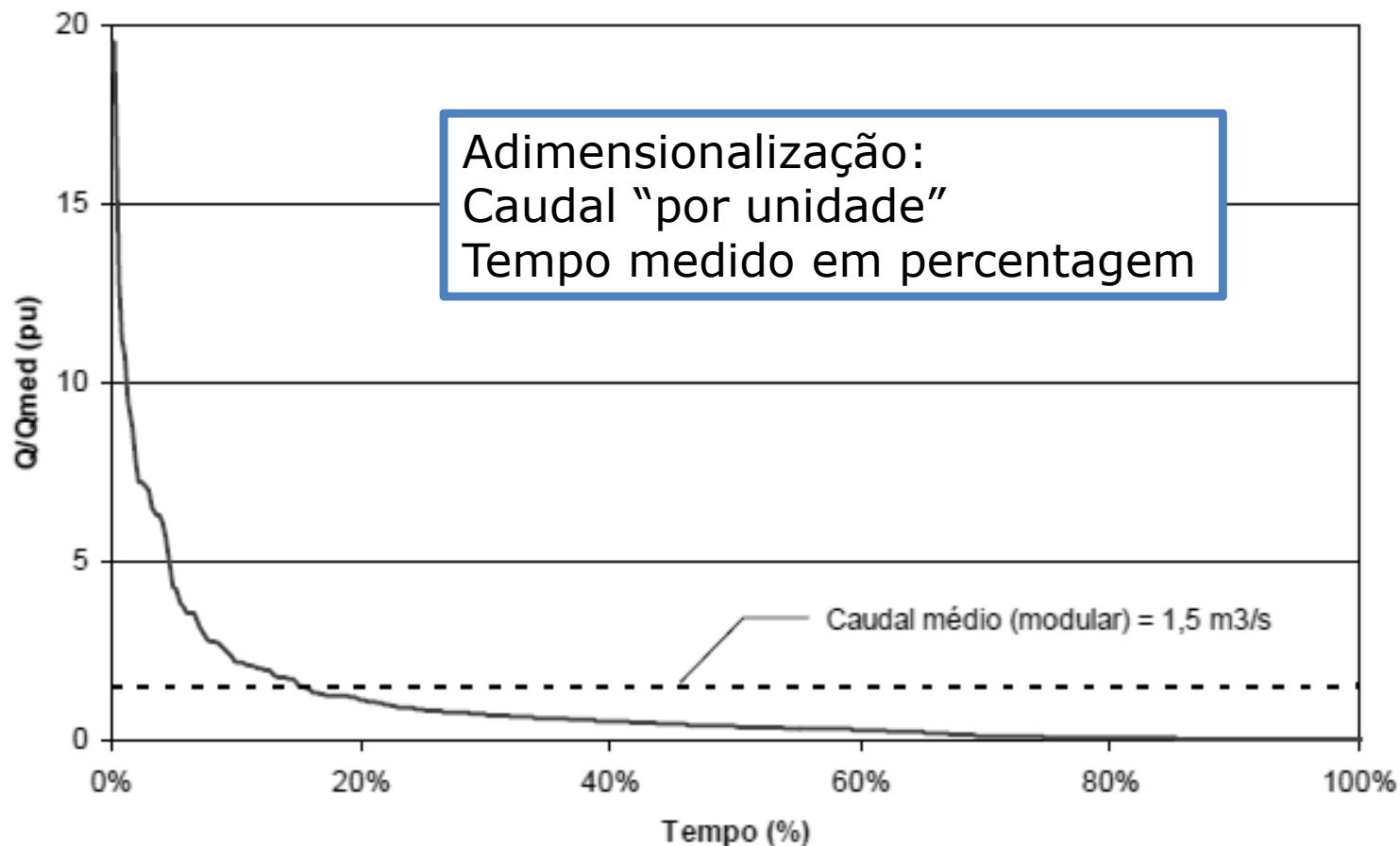
Na realidade o caudal não é constante.



ENERGIA HÍDRICA

Curva (média) de duração de caudais (médios diários)

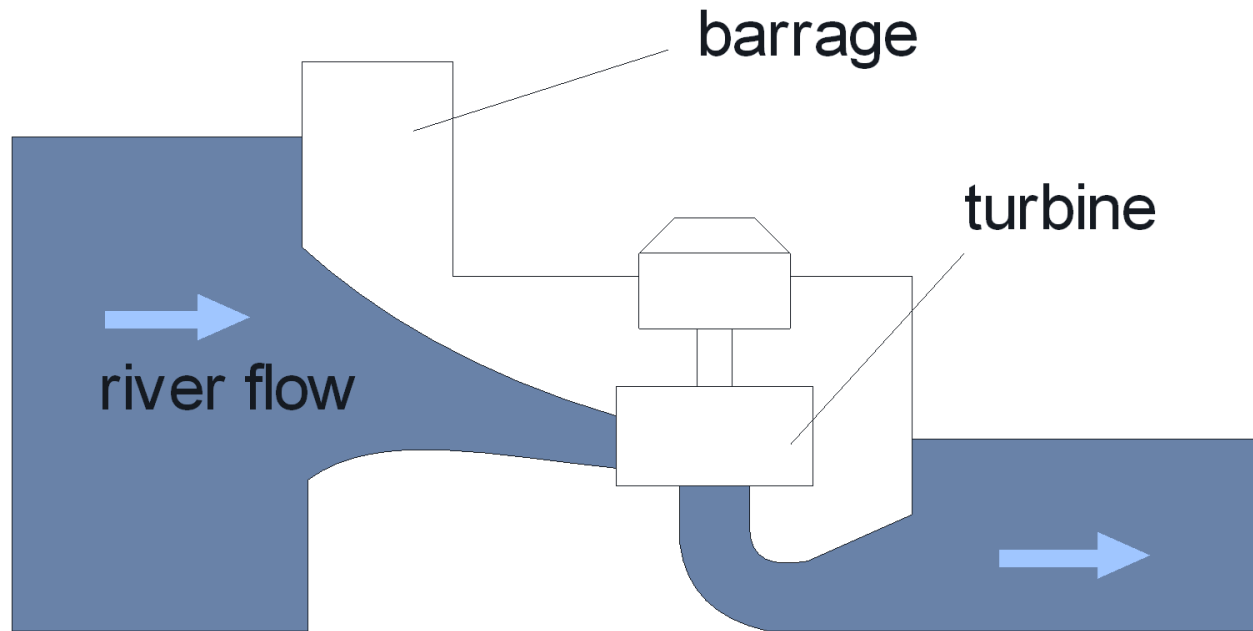
Na realidade o caudal não é constante.



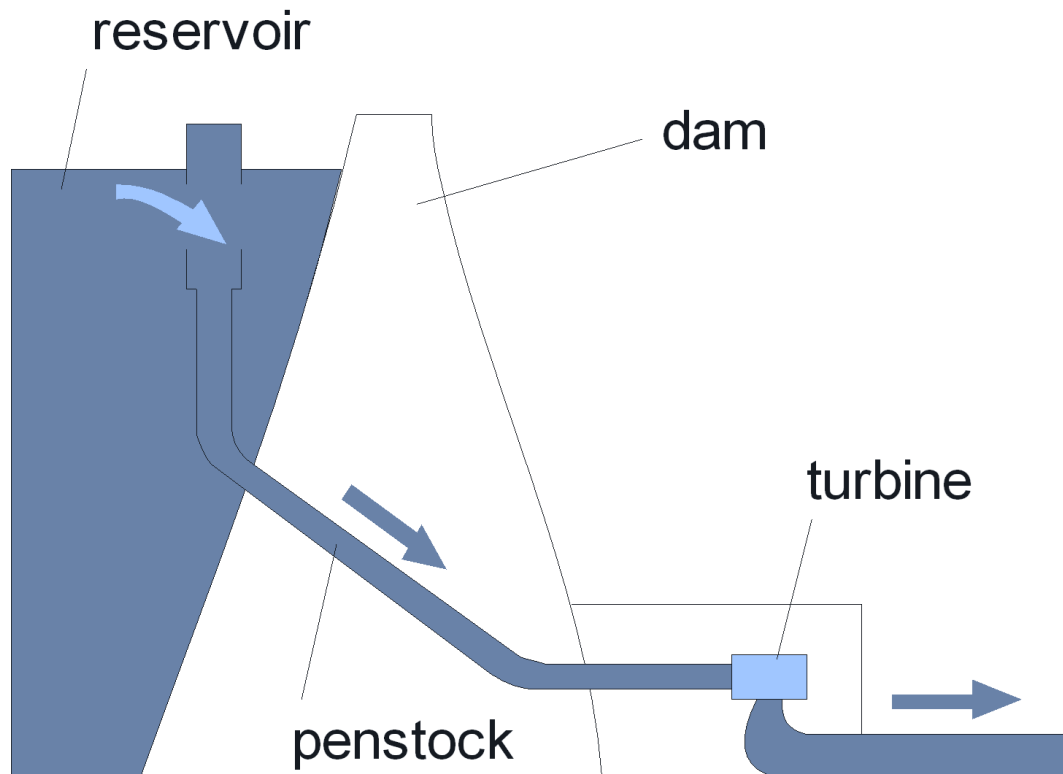
TIPOS DE APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICOS

Fio de água ou

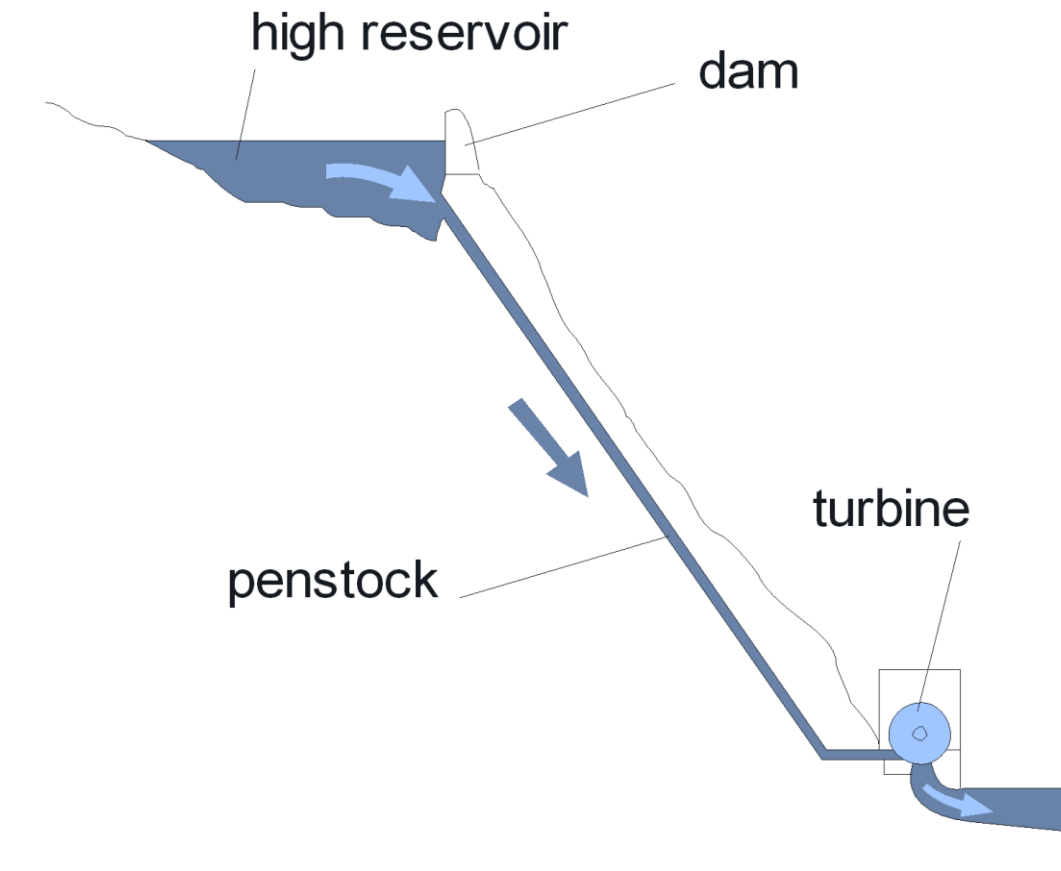
Albufeira, reversível ou não.



(a) low head



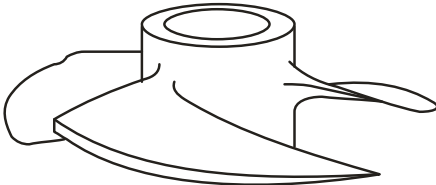
(b) medium head



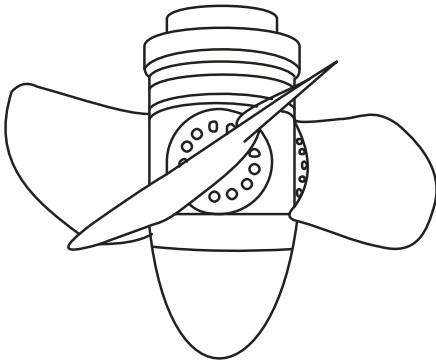
(c) high head

TIPOS DE TURBINA

a)

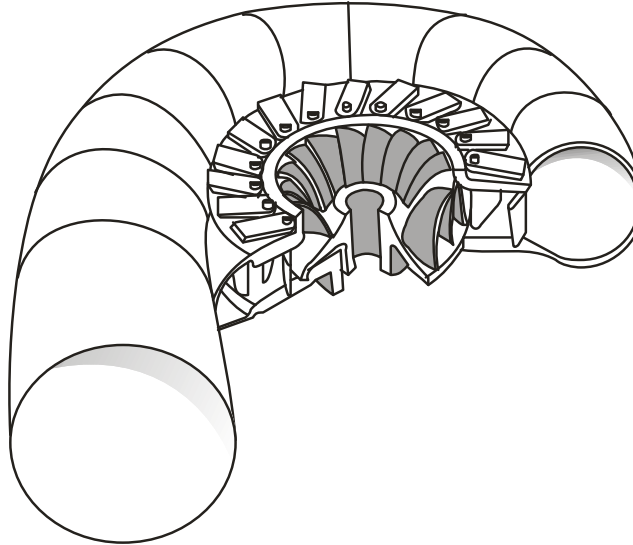


Fixed blades

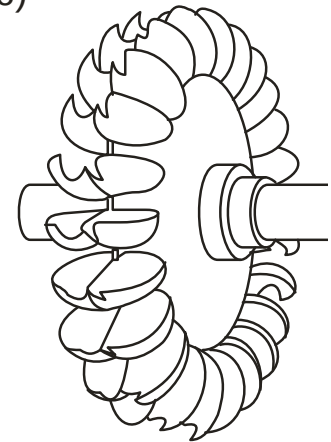


Adjustable blades (Kaplan)

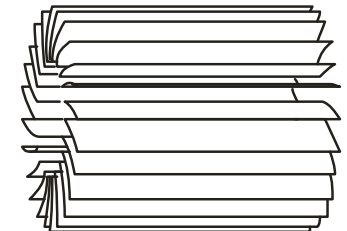
b)



c)

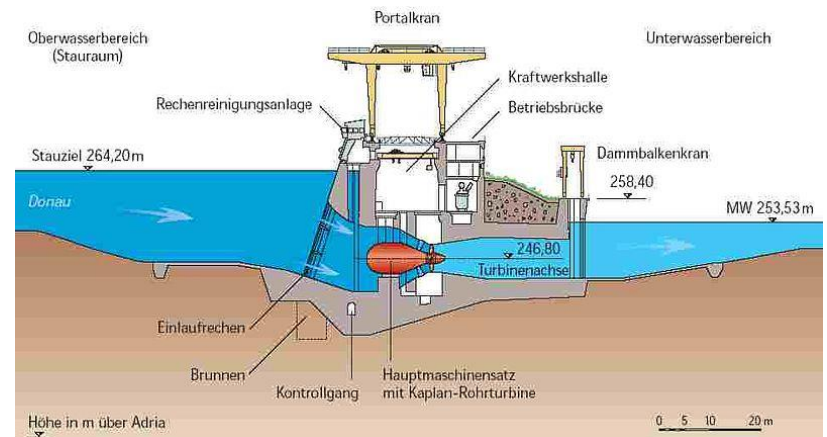
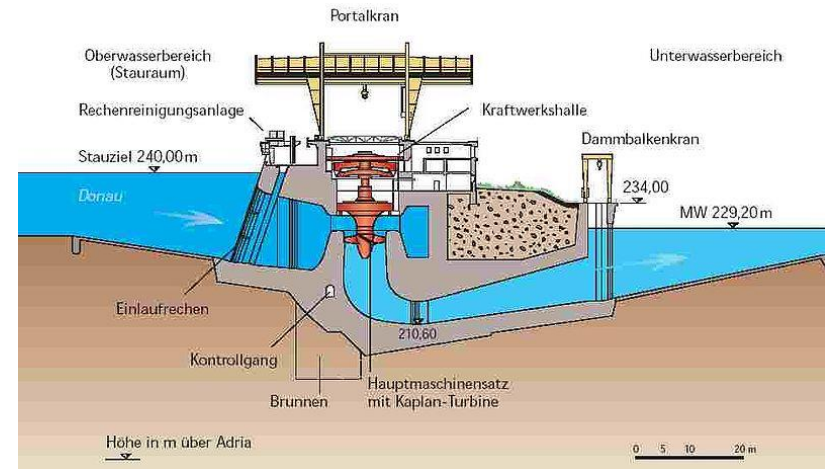
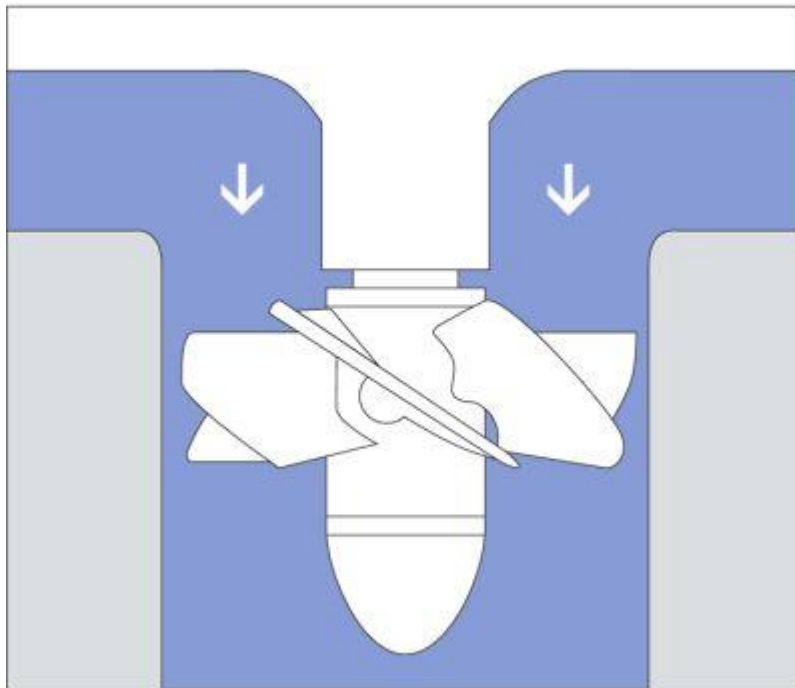


d)

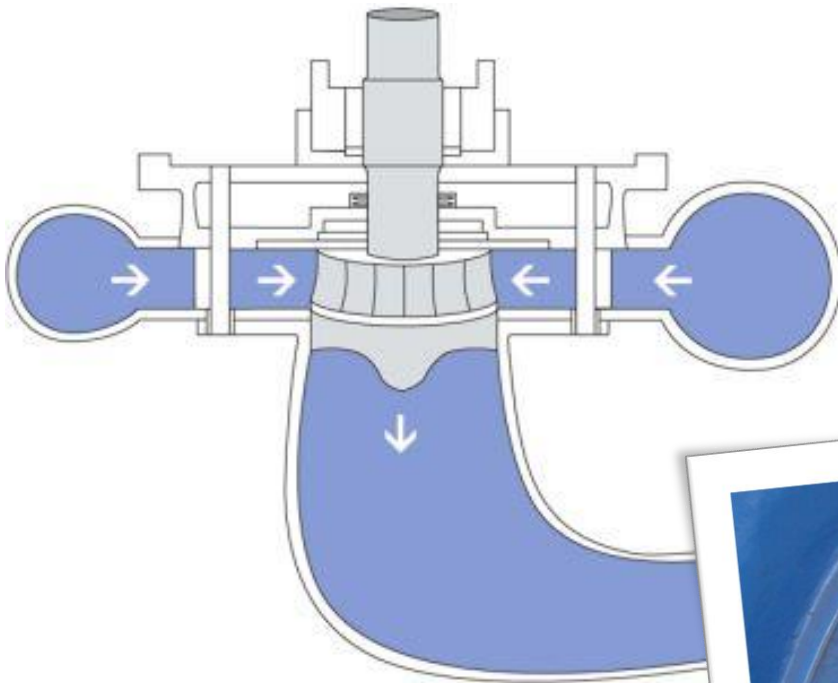


Four runner designs used in hydroelectric turbines: (a) propeller type, with either fixed blades or adjustable blades (the Kaplan turbine), (b) Francis type, (c) Pelton wheel type, and (d) cross-flow type

Turbina Kaplan



Turbina Francis





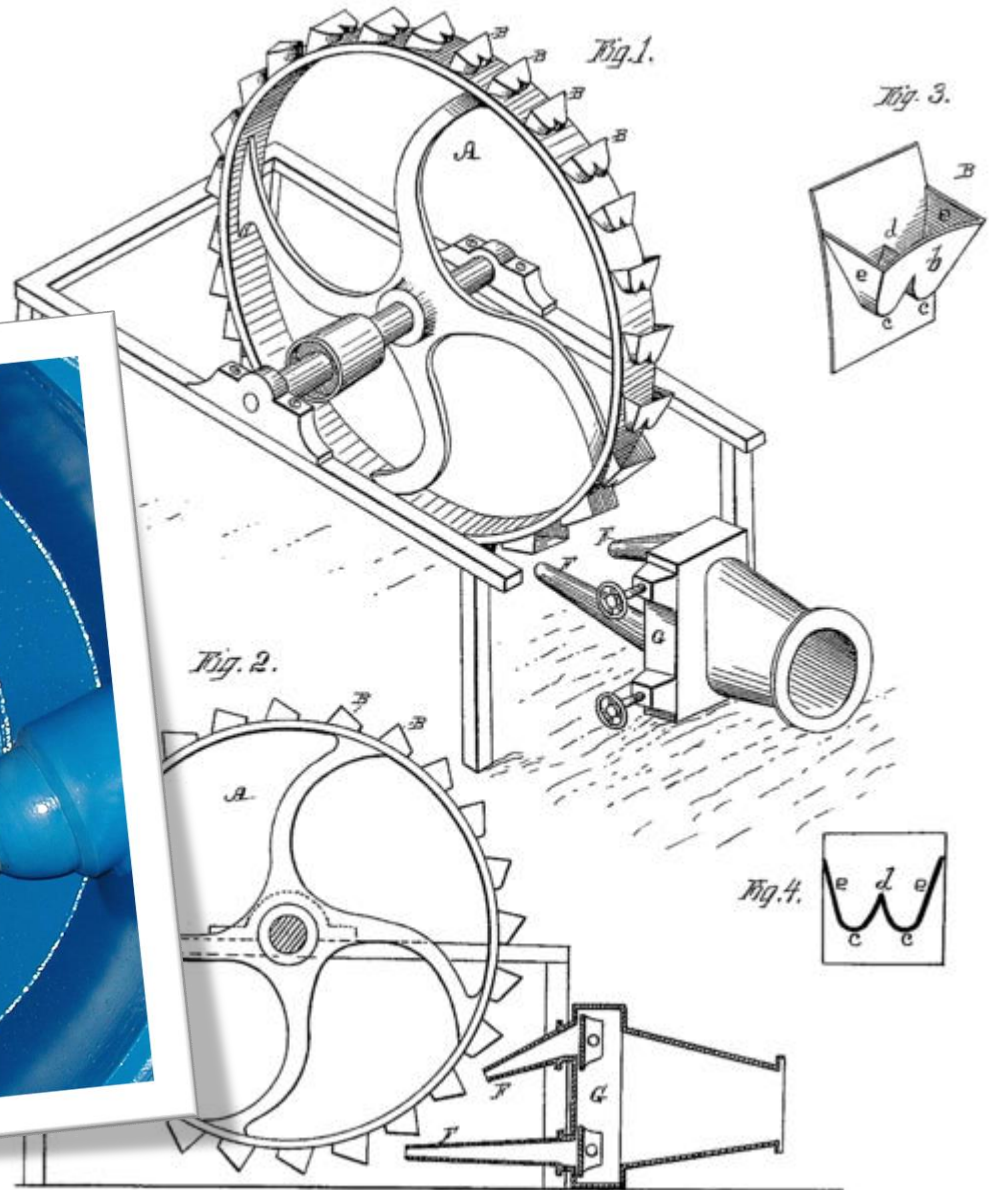
八局
转轮顺利吊入厂房

35

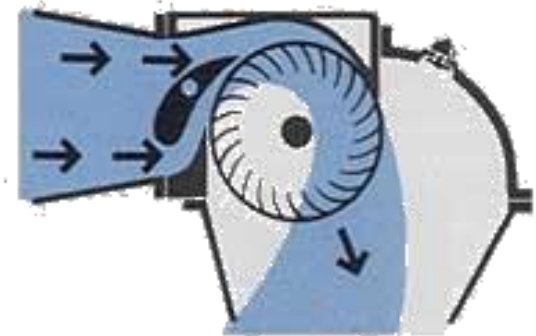
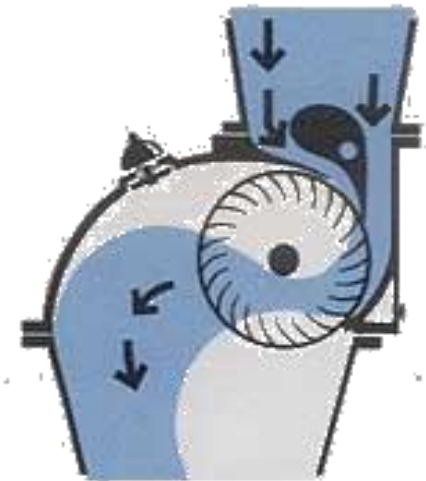
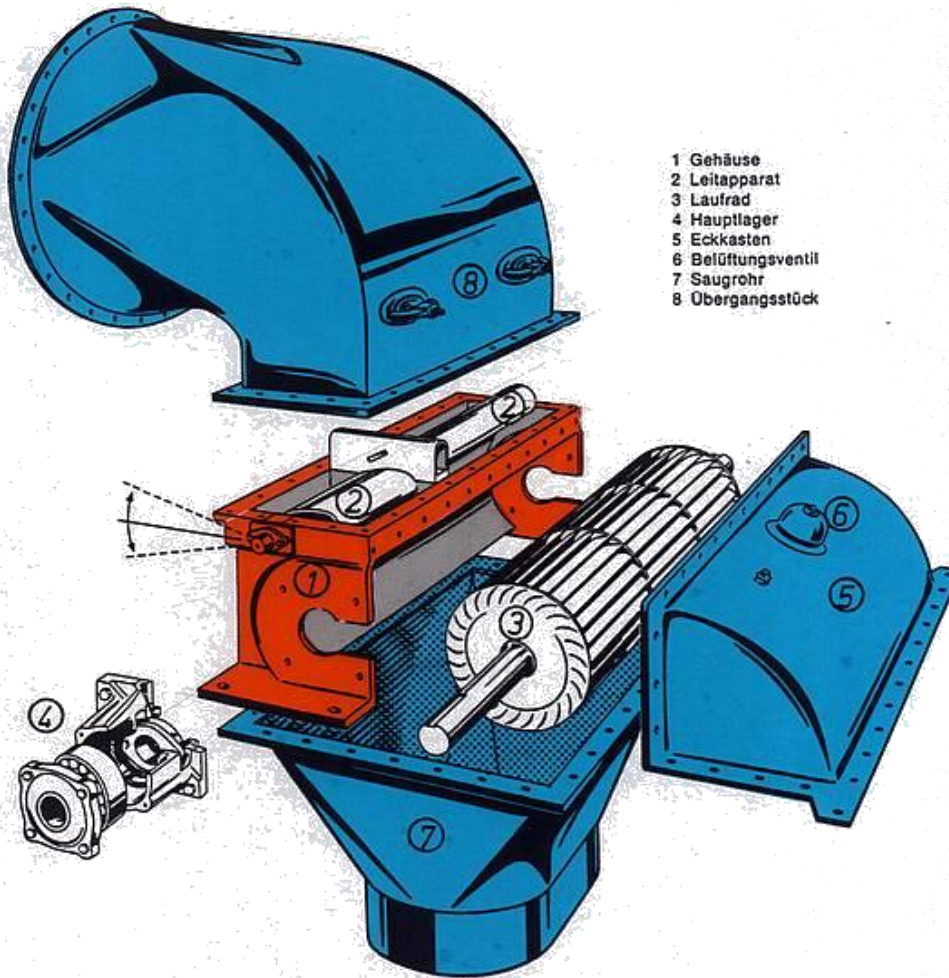
PC 030058

SeaLand

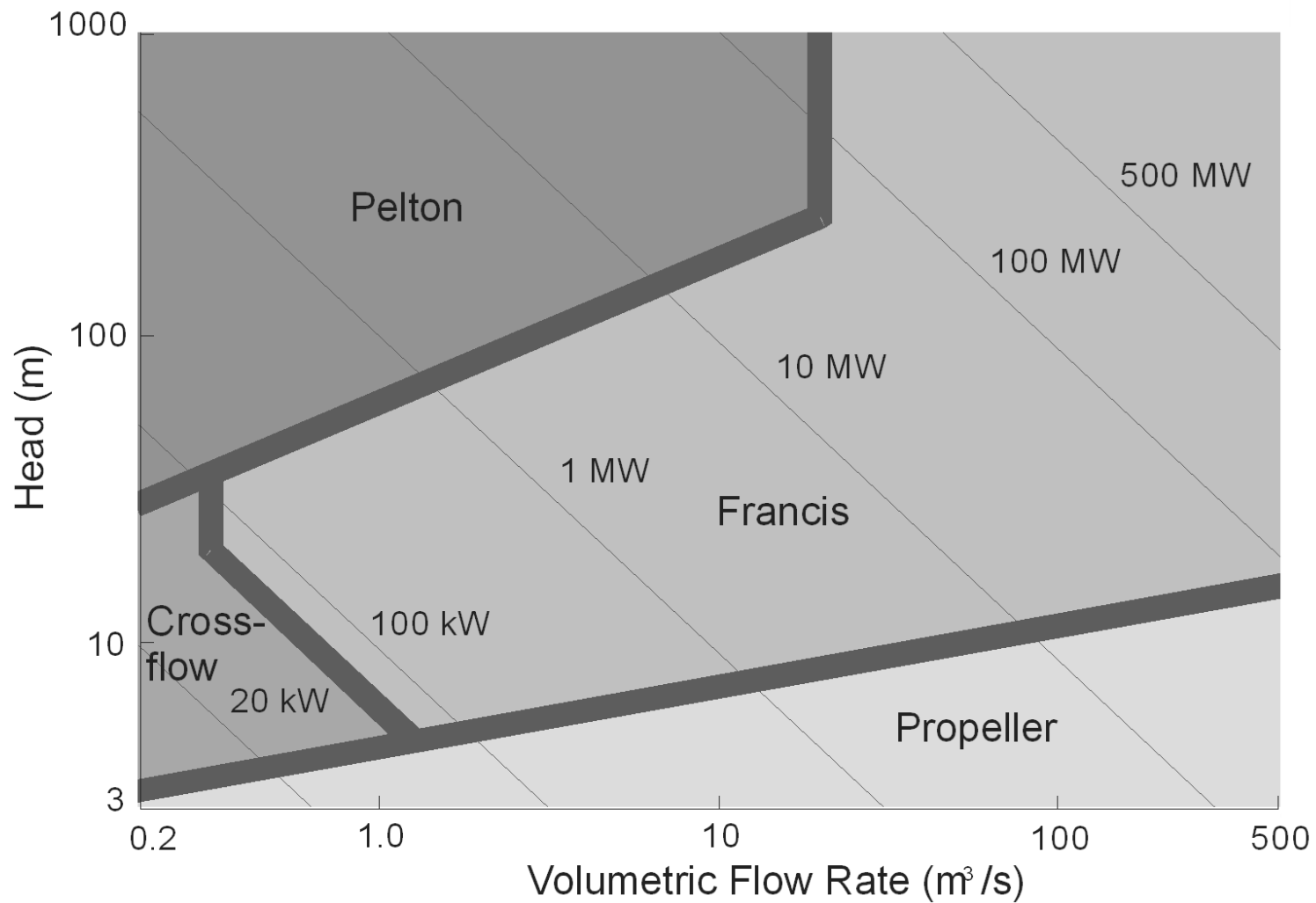
Turbina Pelton



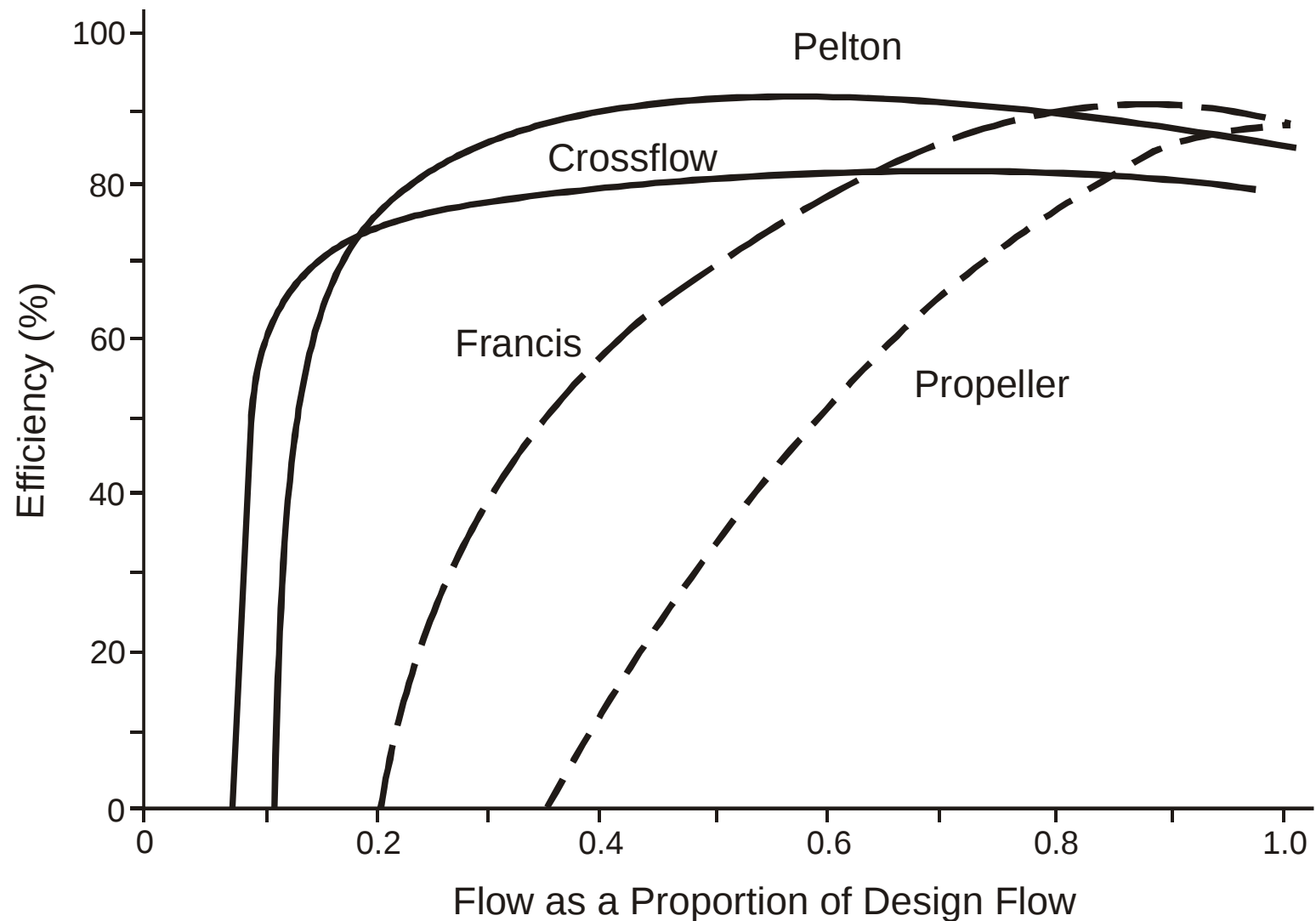
Turbina Banki (cross flow)



TIPOS DE TURBINA



TIPOS DE TURBINA

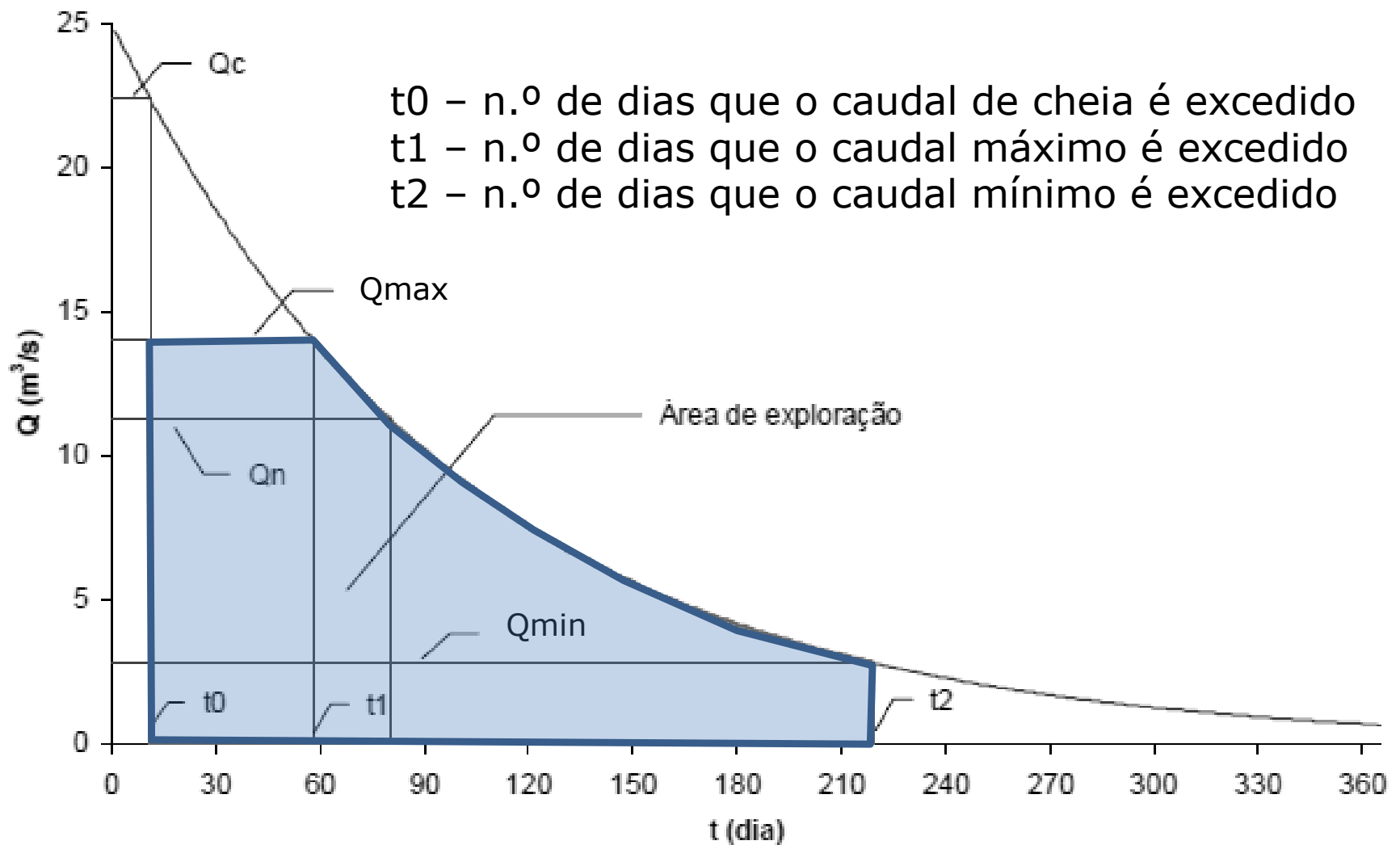


TIPOS DE TURBINA

Limites de exploração das turbinas

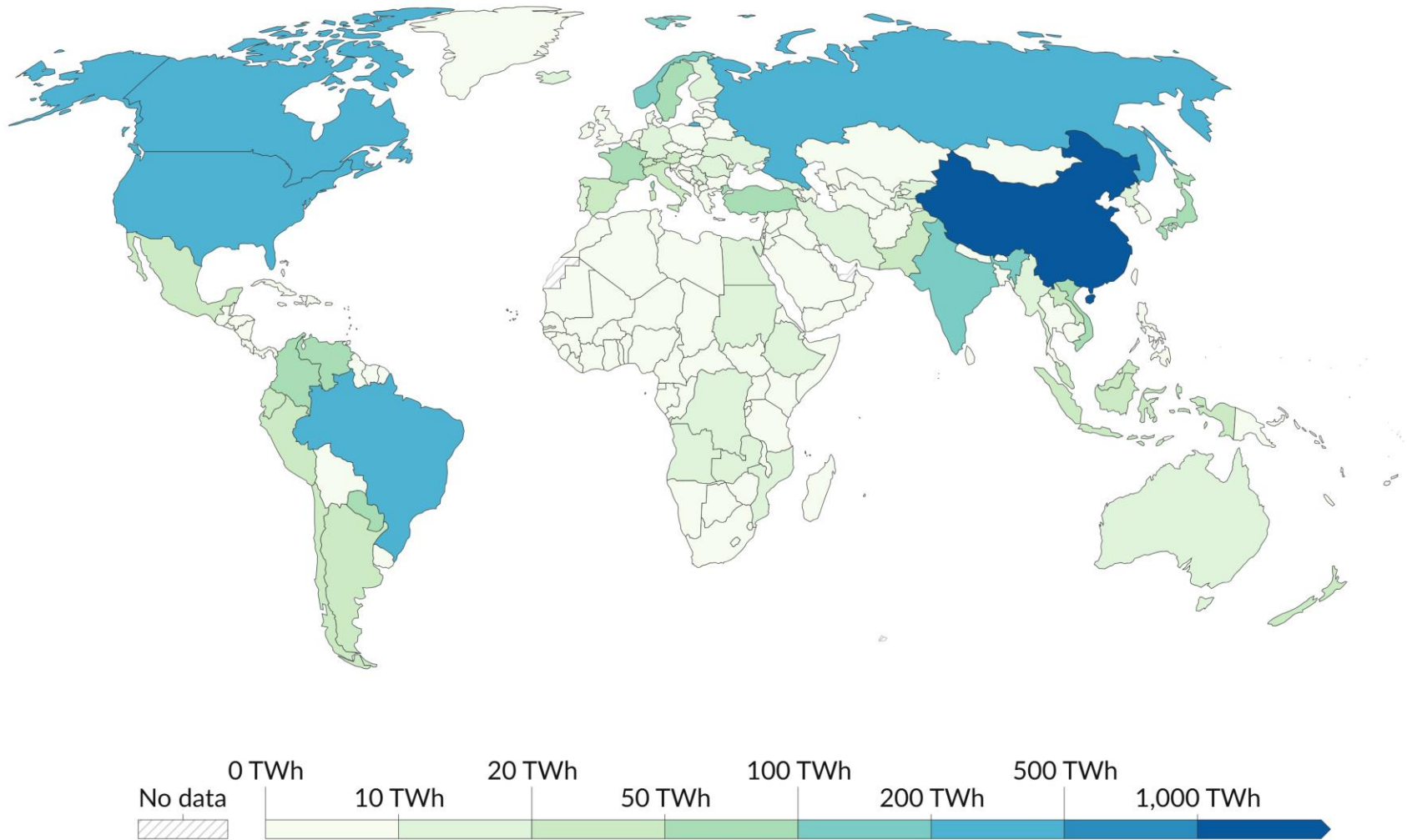
Turbina	$\alpha_1 = \frac{Q_{\min}}{Q_N}$	$\alpha_2 = \frac{Q_{\max}}{Q_N}$
Pelton	0,15	1,15
Francis	0,35	1,15
Kaplan com dupla regulação	0,25	1,25
Kaplan com rotor regulado	0,4	1,0
Hélice	0,75	1,0

ENERGIA PRODUZIDA POR UMA CENTRAL HÍDRICA



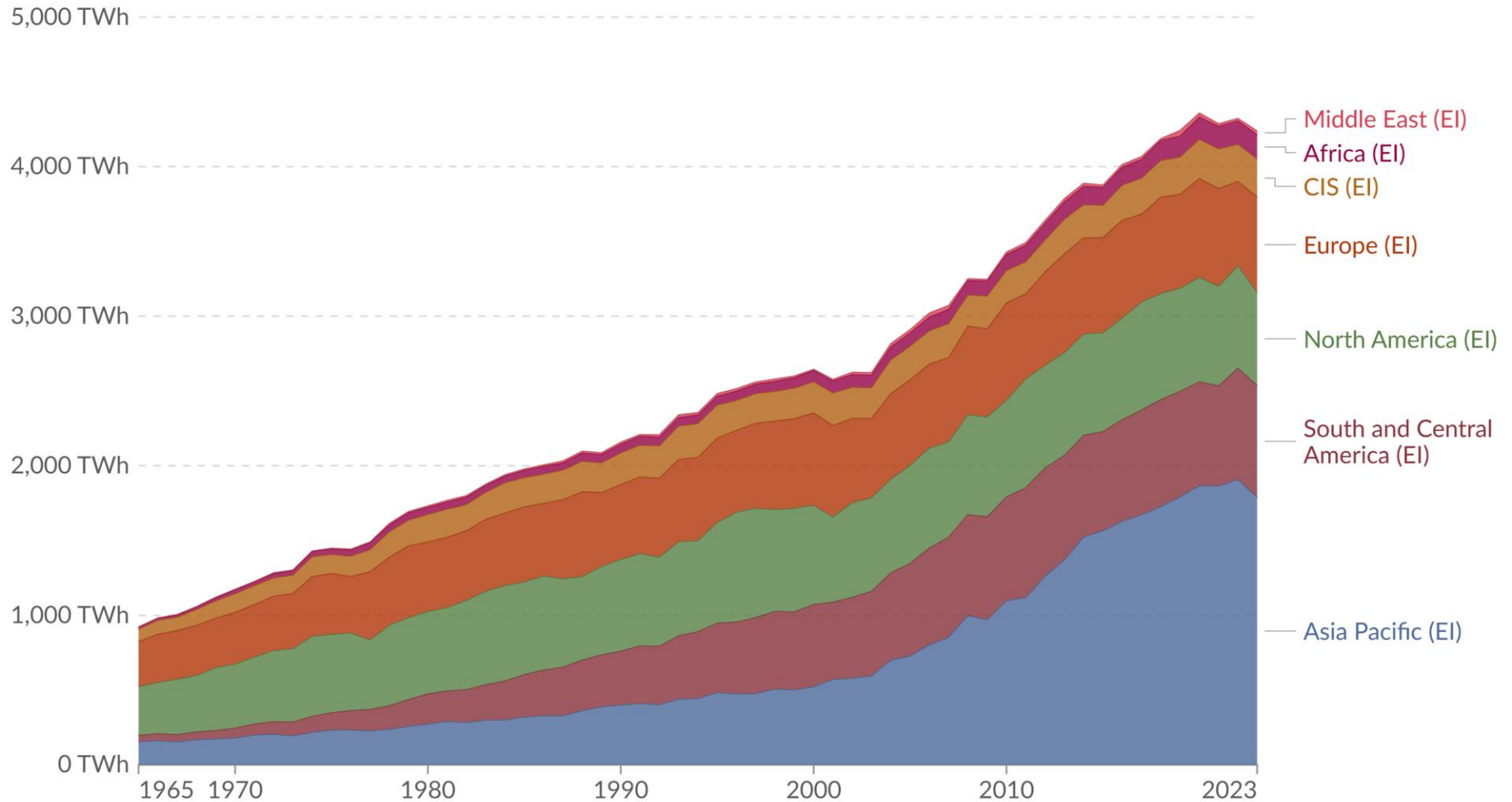
Hydropower generation, 2023

Annual hydropower generation is measured in terawatt-hours (TWh).



Hydropower generation by region

Hydropower generation is measured in terawatt-hours (TWh).



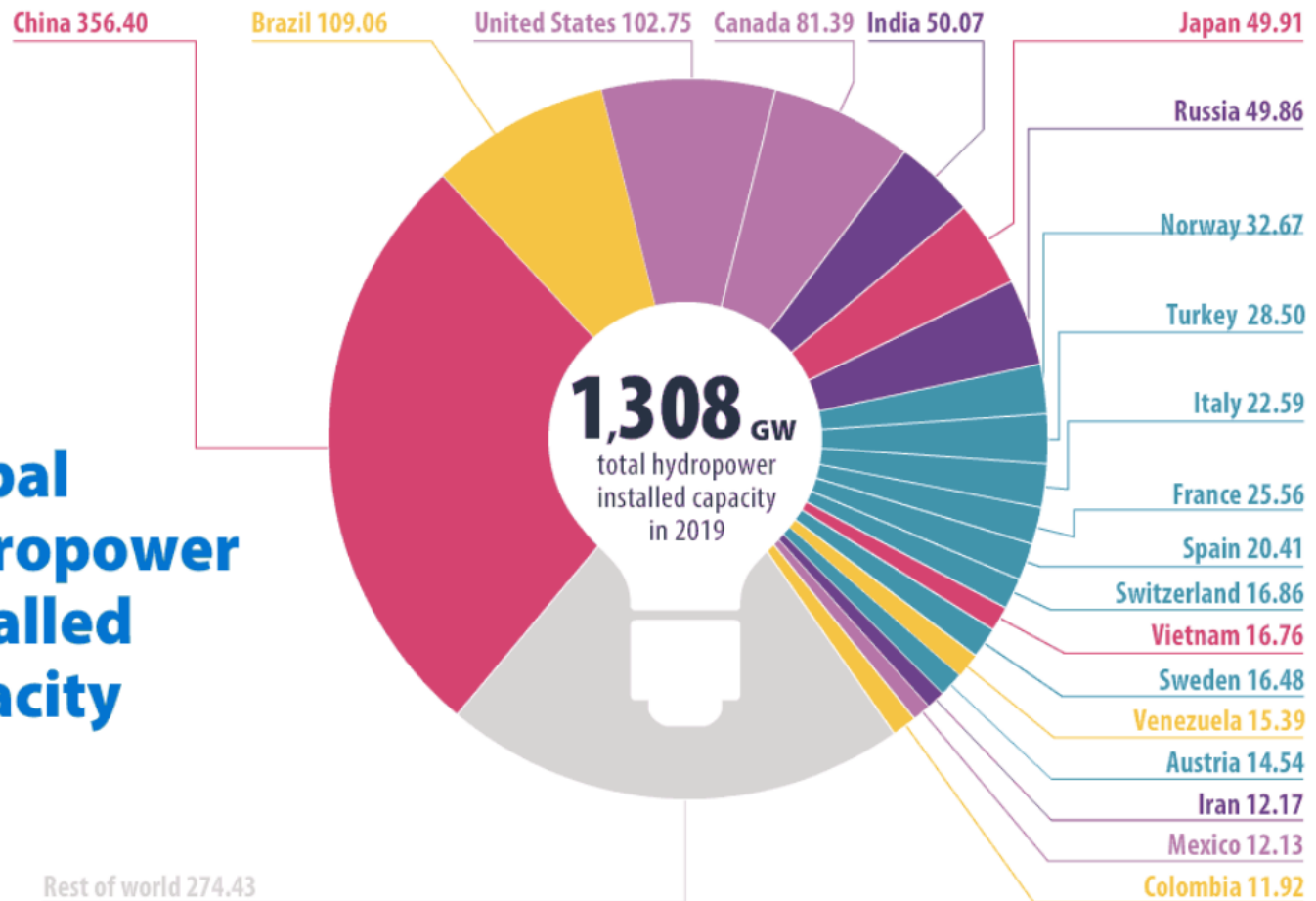
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/renewable-energy | CC BY

Note: CIS (Commonwealth of Independent States) is an organization of ten post-Soviet republics in Eurasia following break-up of the Soviet Union.

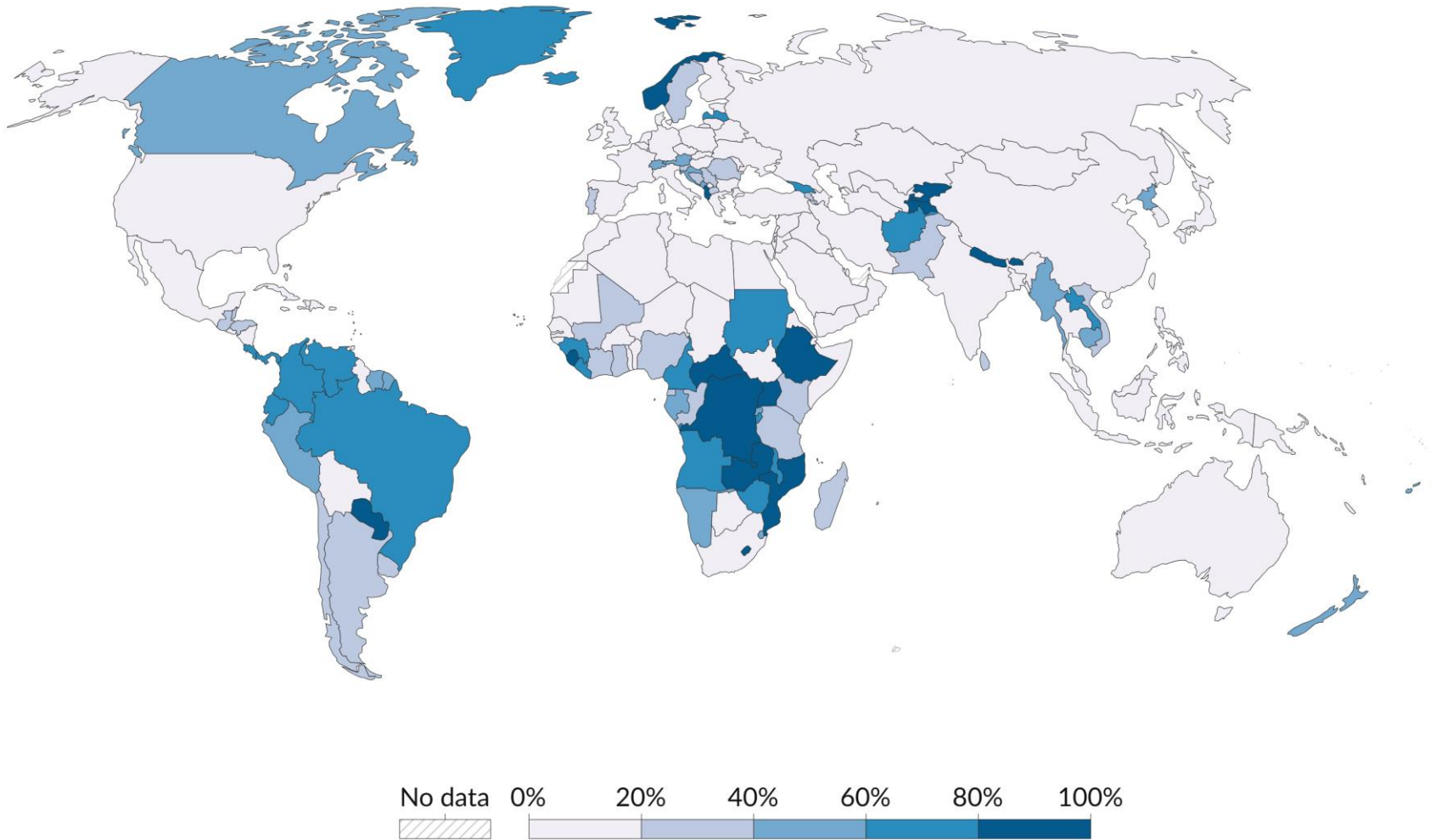
World hydropower map

Global hydropower installed capacity

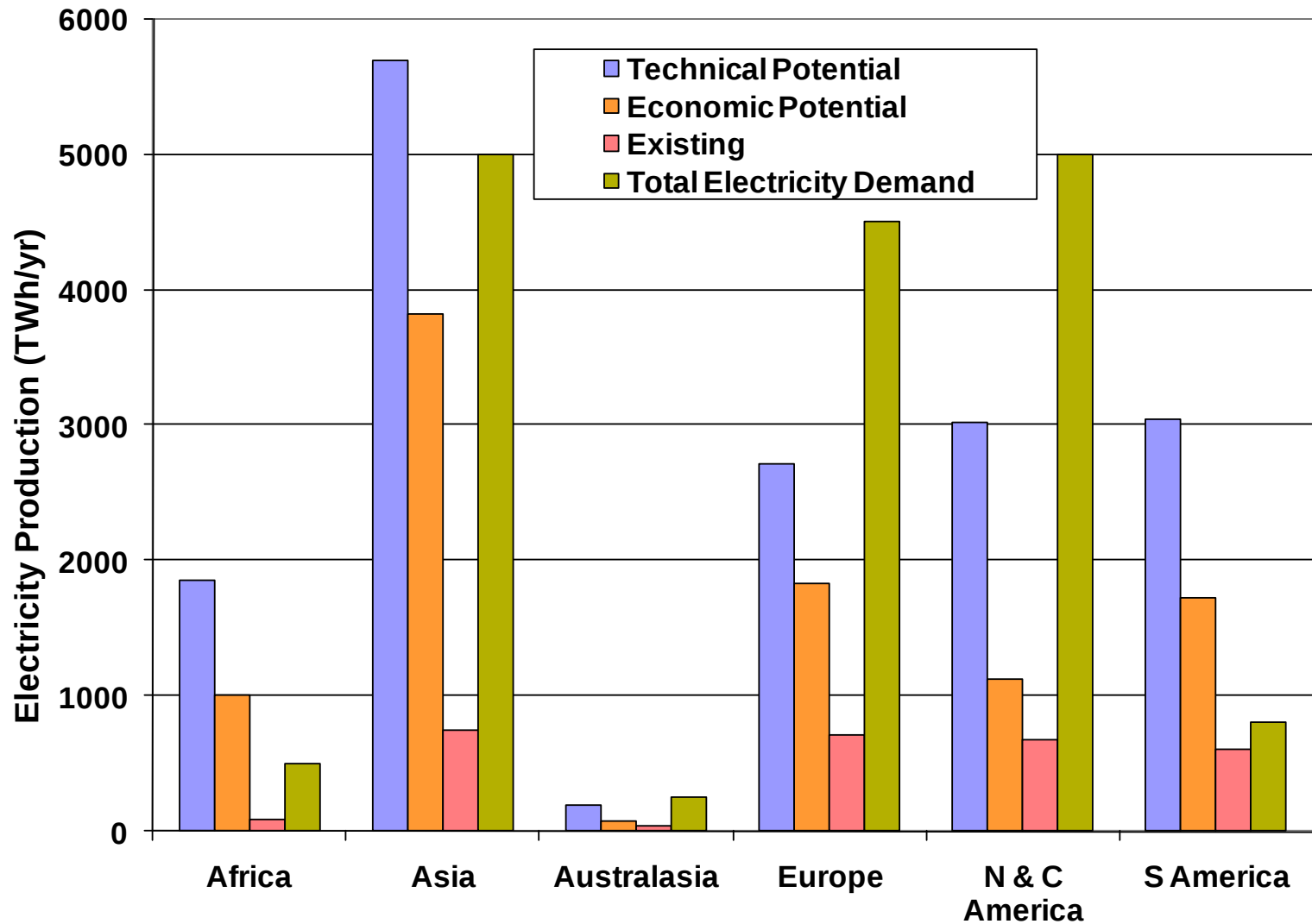


Share of electricity production from hydropower, 2023

Measured as a percentage of total electricity.



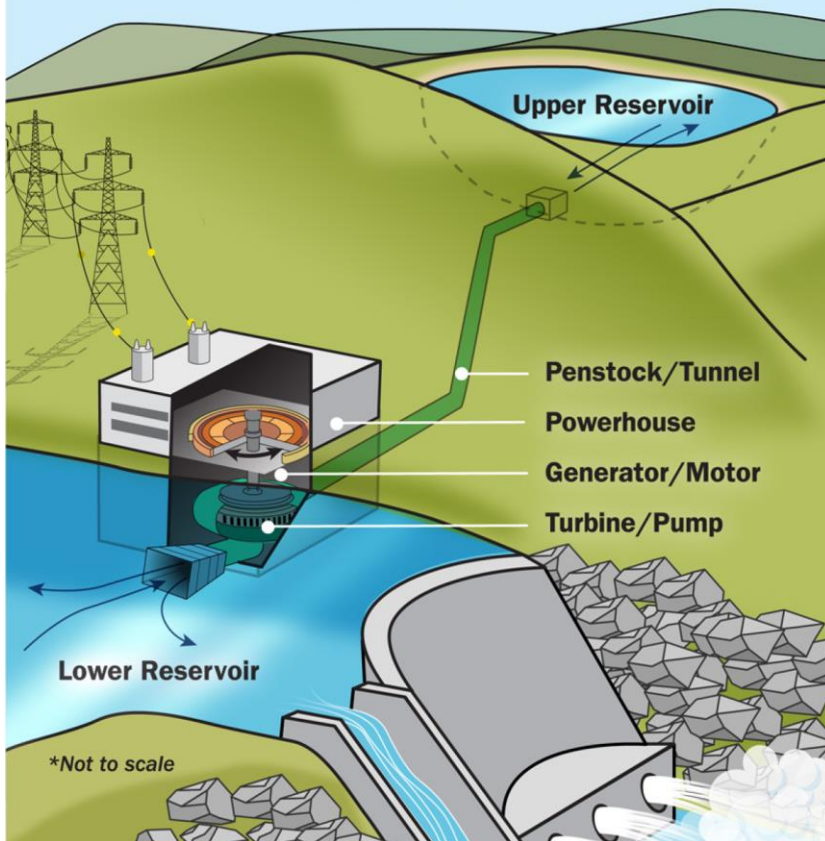
POTENCIAL HIDROELÉCTRICO



Bombagem: diferentes configurações

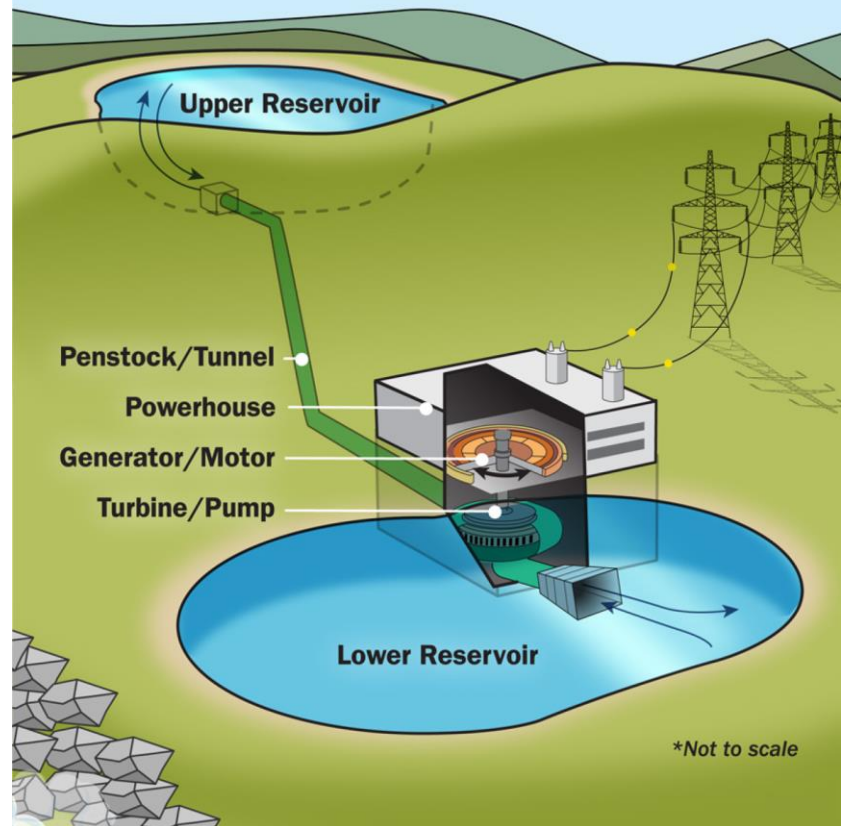
OPEN-LOOP PUMPED STORAGE HYDROPOWER

Projects that are continuously connected to a naturally flowing water feature



CLOSED-LOOP PUMPED STORAGE HYDROPOWER

Projects that are **not** continuously connected to a naturally flowing water feature



Bombagem: o armazenamento mais barato?

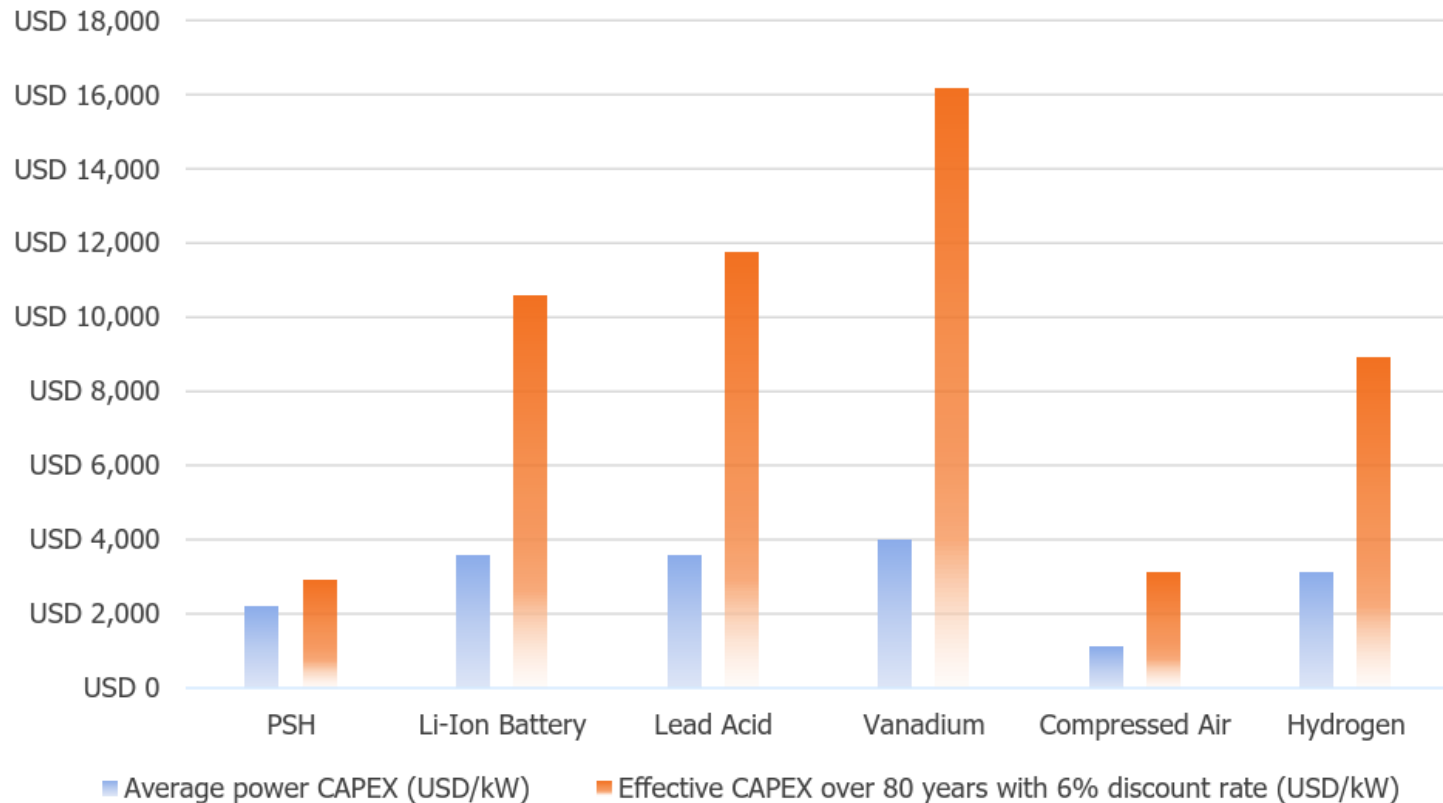


Figure 5. Comparison of effective lifetime costs of energy storage technologies over 80 years (10-hour duration, 2020)

Hydropower Pumped Storage - Capacity

(Update: 27 June 2022)

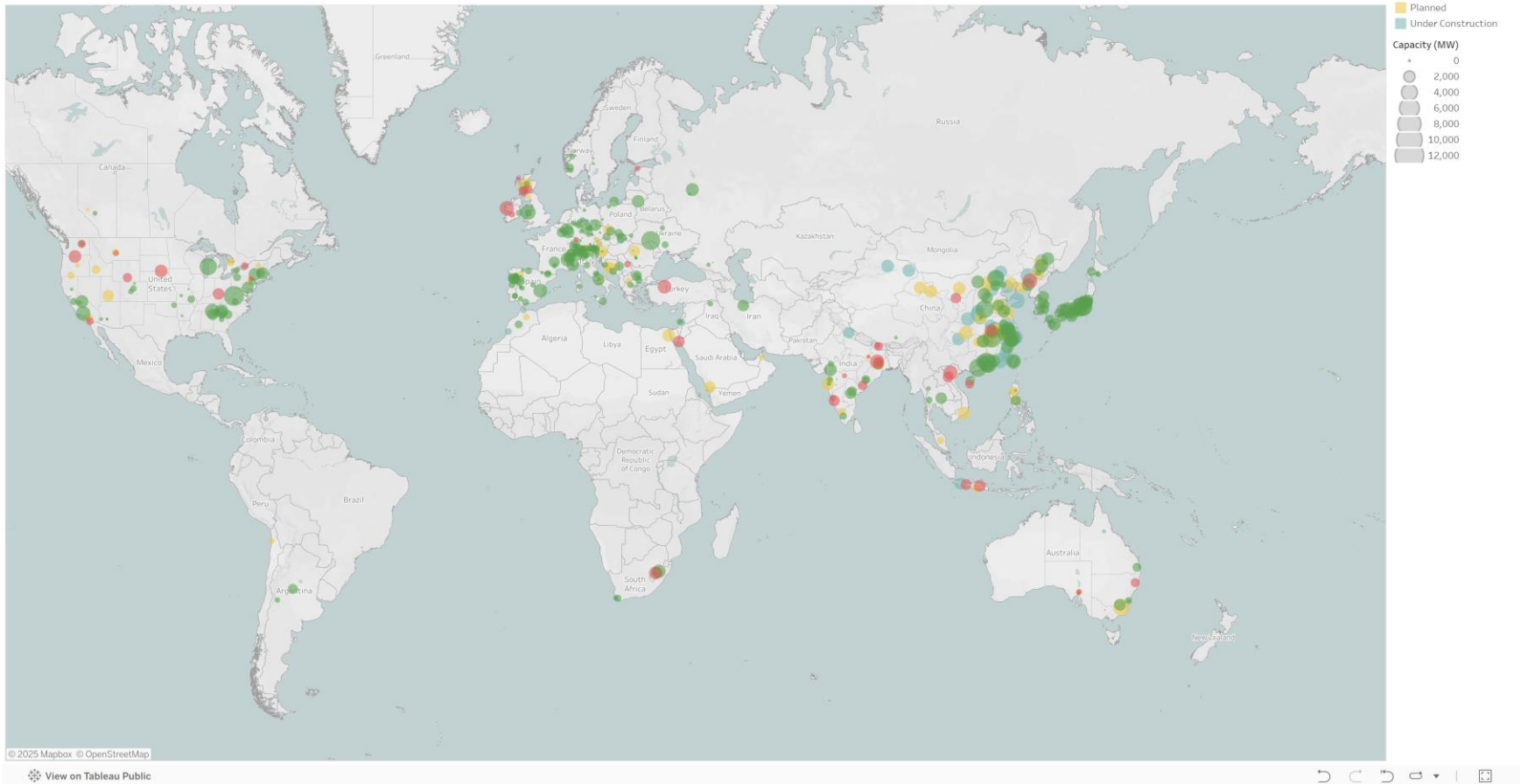
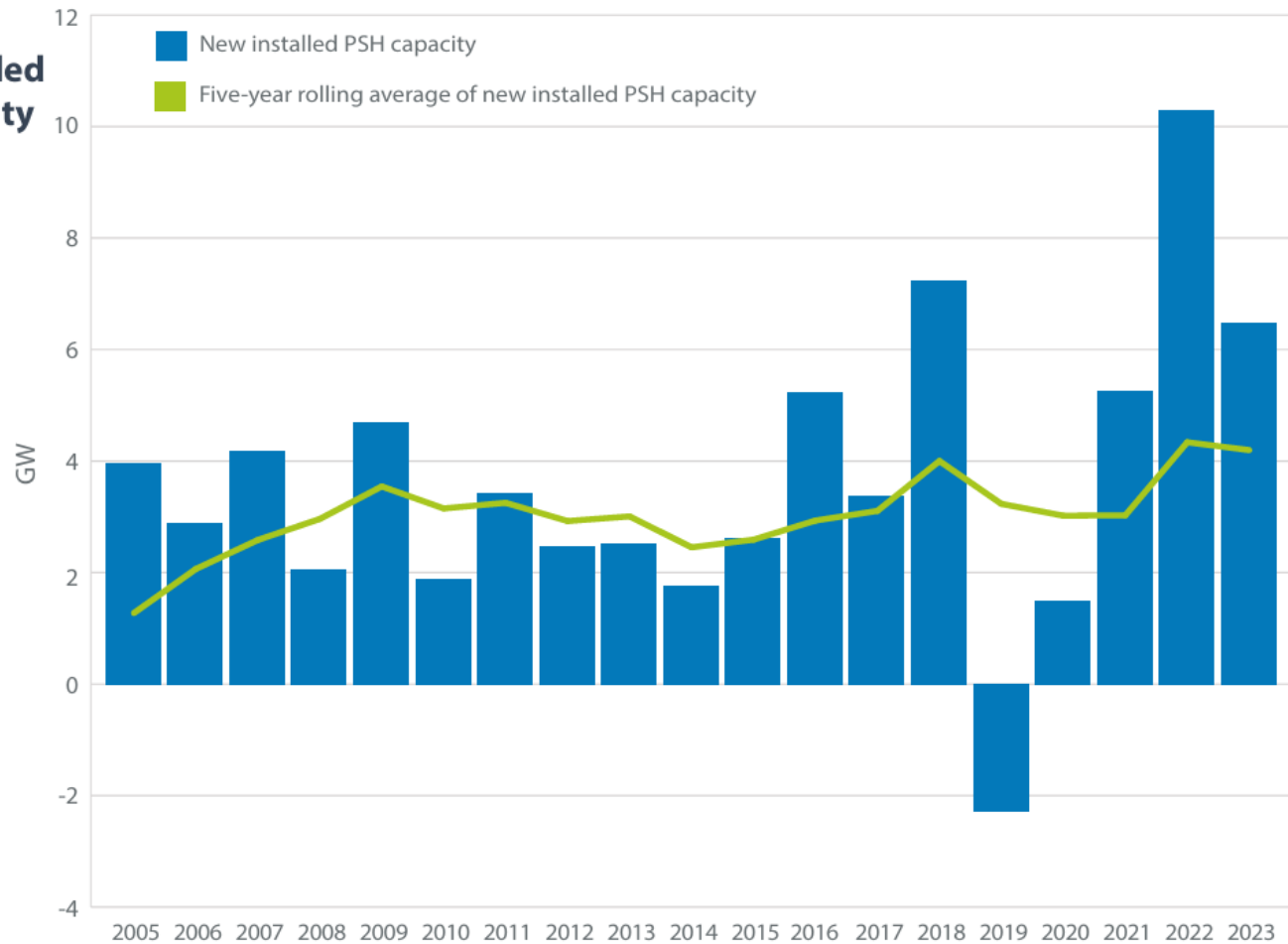


Figure 4:
New installed
PSH capacity



Bombagem: barato mas com pouco crescimento

Global energy storage capacity outlook, 2015 - 2030

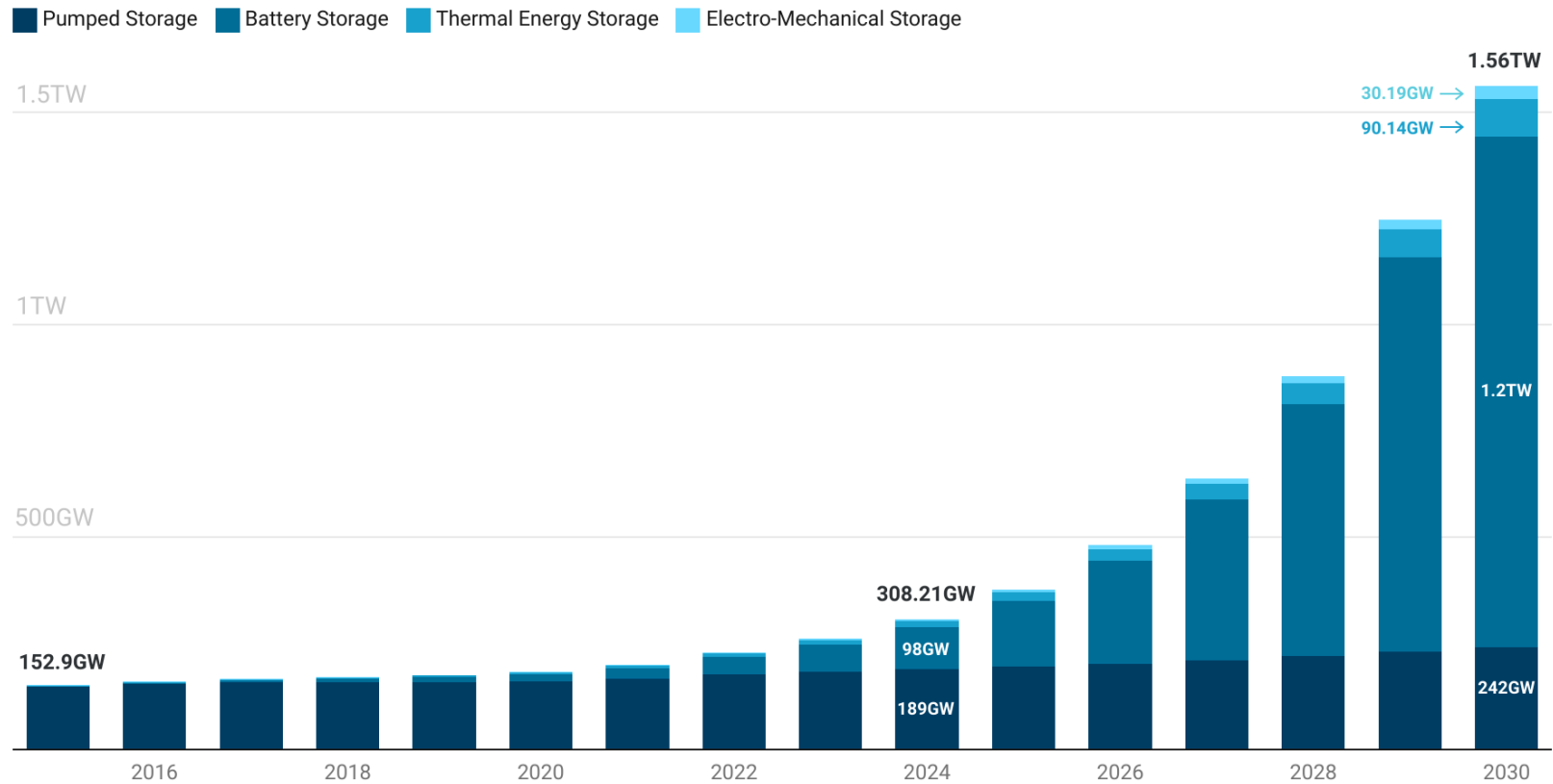
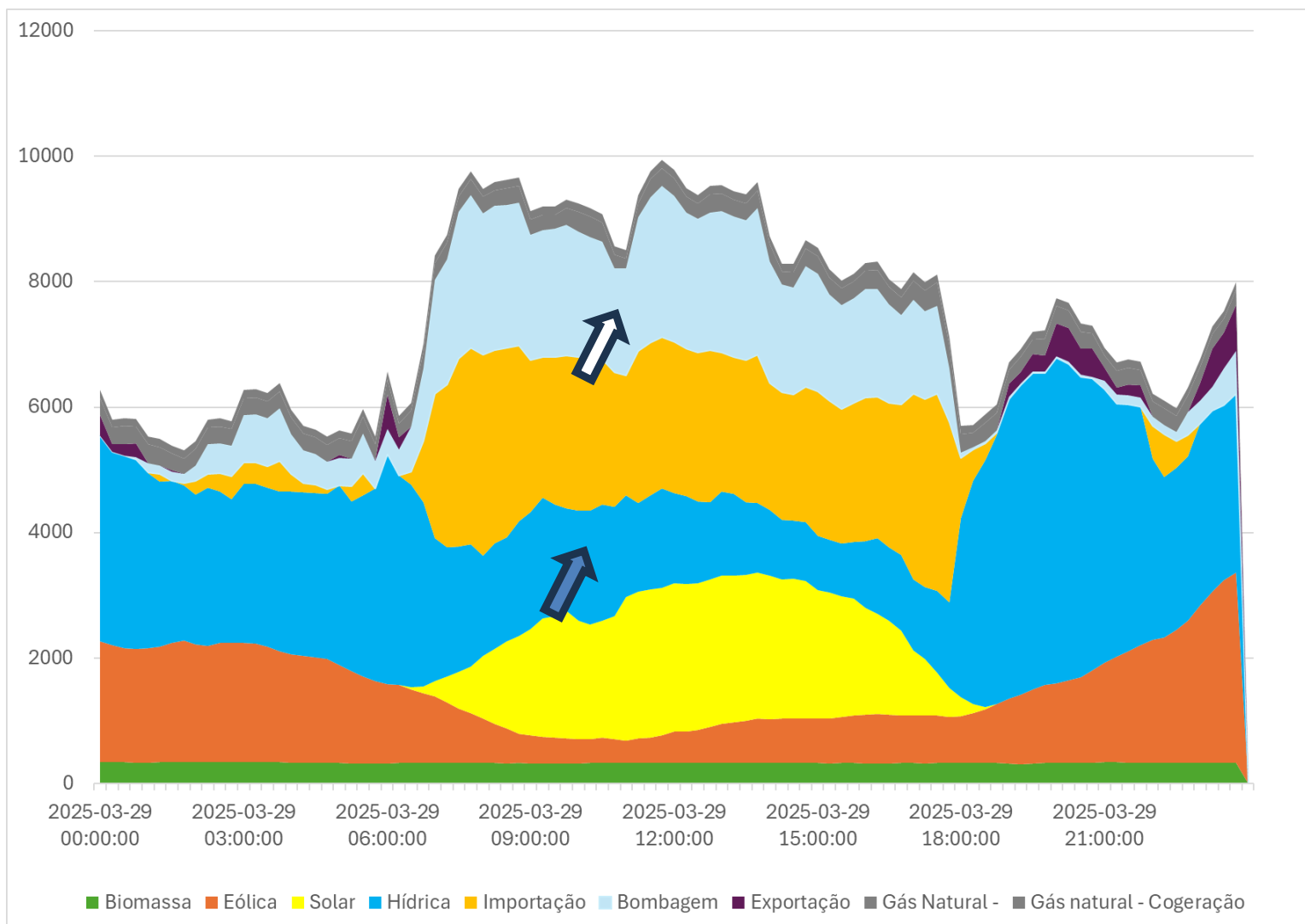
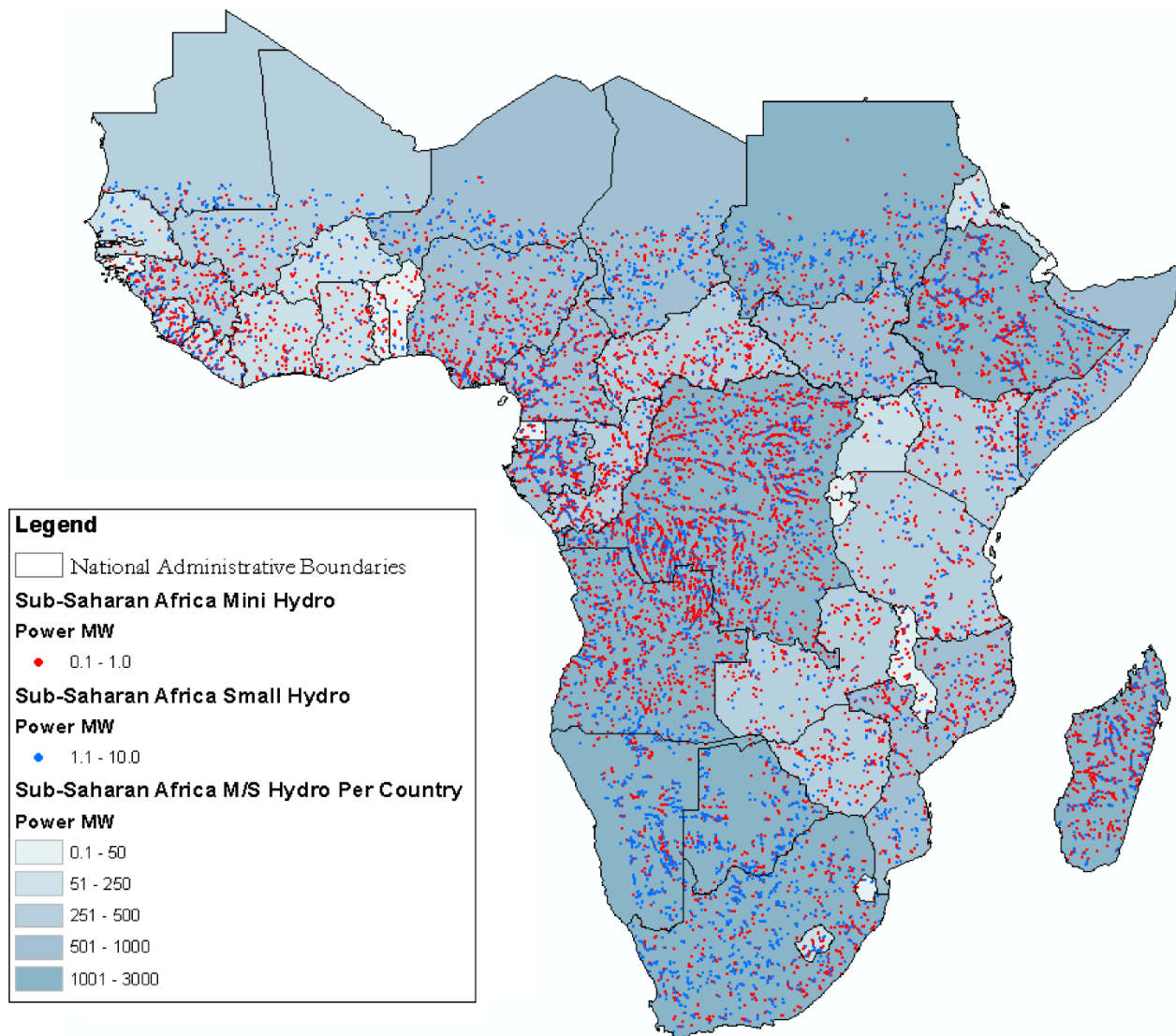


Chart: Jackie Park • Source: GlobalData • Created with Datawrapper

Bombagem: flexibilidade no sistema elétrico



O potencial das mini-hídricas para a eletrificação remota



CUSTOS INVESTIMENTO

- Pequena hídrica, \$1000-3000/kW, países em desenvolvimento
- Pequena hídrica, \$2000-9000/kW, países desenvolvidos
- Grande hídrica (incluindo barragem e albufeira), \$2000-8000/kW

CUSTOS INVESTIMENTO

Pequena hídrica (<10MW)

Depende da queda de água e potência, e do factor de utilização

Tabela 3: Investimento unitário (€/kW) em CMH (final de 2002) [ESTIR]

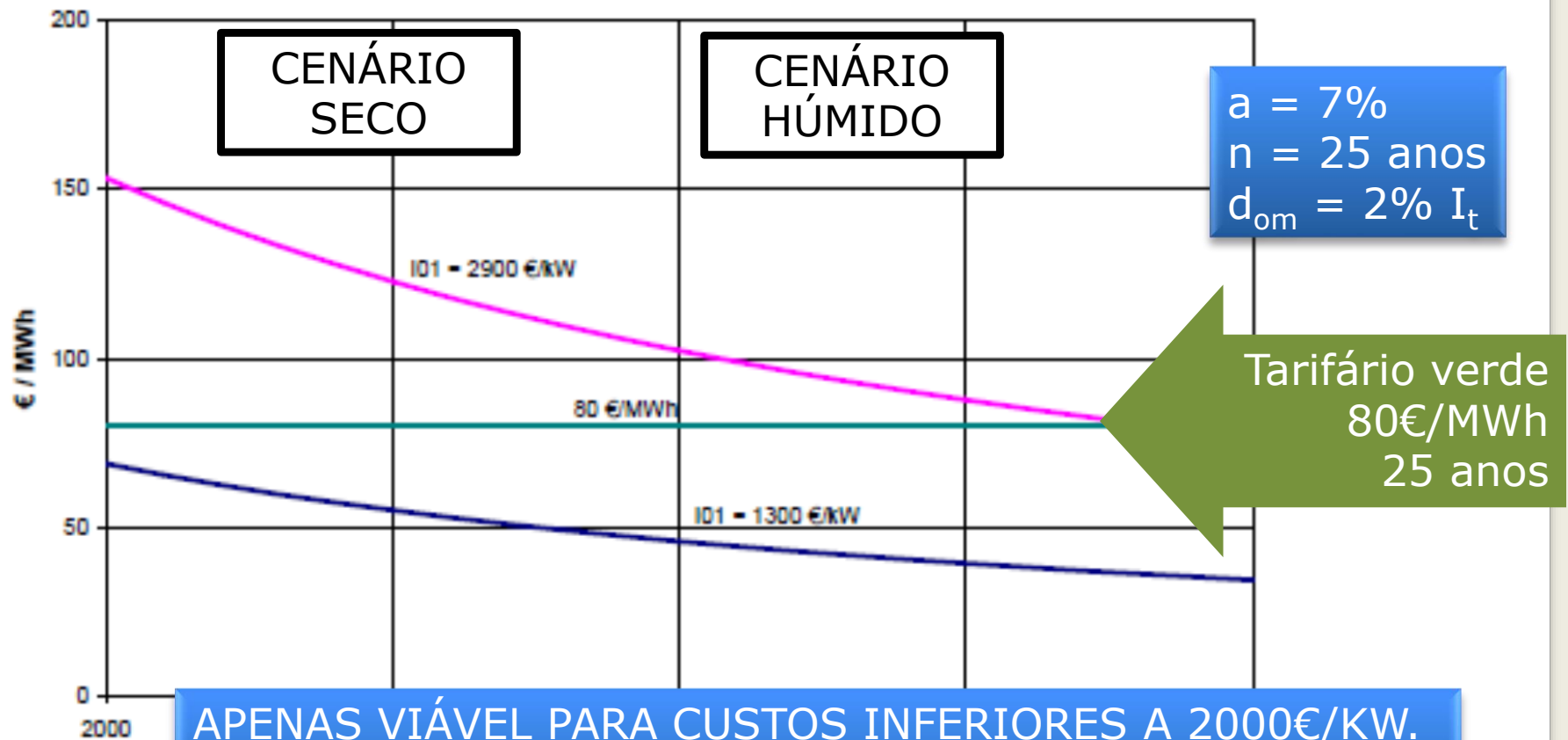
€/kW	Mínimo	Máximo	Médio
1MW-10MW	600	2000	1300
500kW-1MW	1300	4500	2900
100kW-500kW	1500	6000	3750
<100kW	1500	6000	3750

Energy Scientific & Technological Indicators and References (ESTIR), Area: Electricity Generation, Sector: Hydropower (incl. small), Community Research & Development Information Service (CORDIS), 2002.

CUSTOS INVESTIMENTO

Pequena hídrica (<10MW)

Depende da queda de água e potência, e do factor de utilização



IMPACTOS POSITIVOS

Impactos económicos & energéticos

- Custo da energia
- Segurança energética (fonte endógena, ou quase)
- Valorização recurso eólico (PNBEPH: 1MW de bombeagem/ 3.5MW de eólico)
- Aproveitamento água para consumo das populações e/ou irrigação

IMPACTOS NEGATIVOS

Impactos sociais

- Deslocamento população
- Reservatório pode promover desenvolvimento vectores transmissão doenças
- (Acidentes: Banqiao, 170000 mortos em 1975)

ÁFRICA

Rebentamento de barragem faz pelo menos 42 mortos no Quênia

O acidente desta madrugada fez subir para 140 o número de vítimas mortais resultantes das chuvas torrenciais e das inundações registadas desde o mês passado.

Reuters

29 de Abril de 2024, 12:30



VER GALERIA



Fossil fuels are the deadliest way to produce electricity

Deaths from accidents and air pollution per terawatt-hour (TWh) of electricity produced

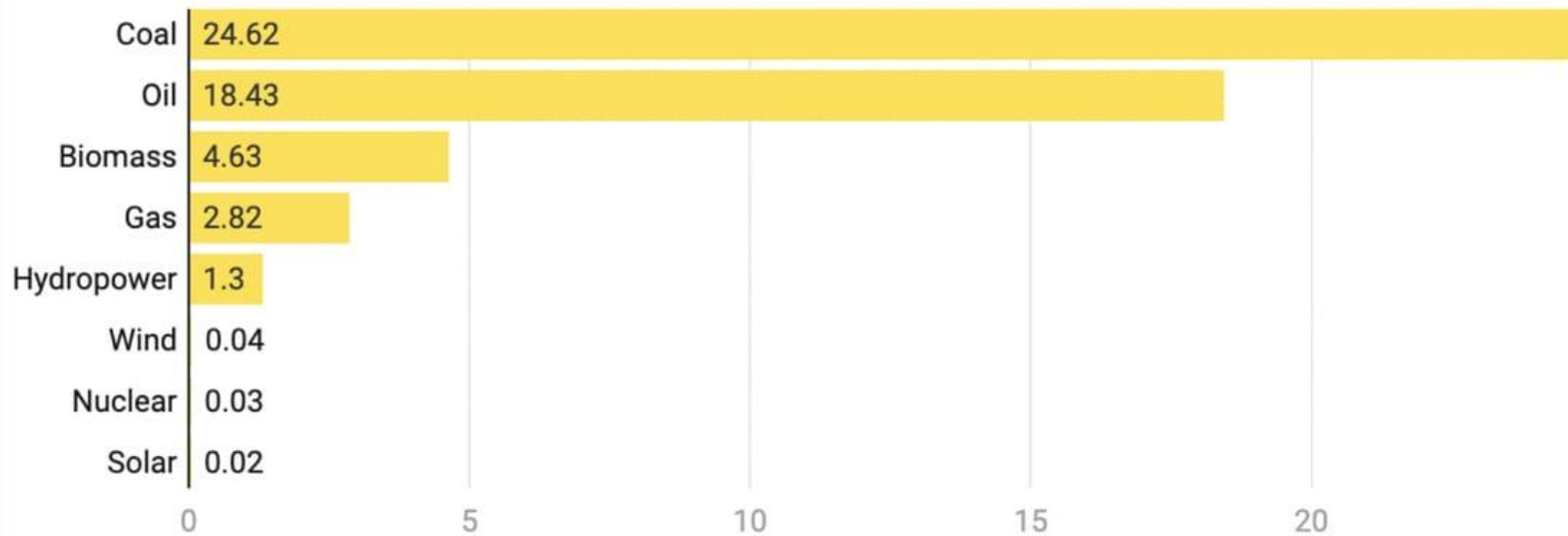


Chart: Canary Media Source: Our World in Data

IMPACTOS NEGATIVOS

Impactos ambientais

- Maior área de superfície = maiores perdas evaporação
- Sedimentação antes da barragem (= custos manutenção)
- Menos sedimentação depois da barragem (= erosão costeira)
- Fragmentação ecossistema fluvial (efeito na biodiversidade)
- Alteração paisagem
- Desflorestação
- Emissões metano

IMPACTOS NEGATIVOS

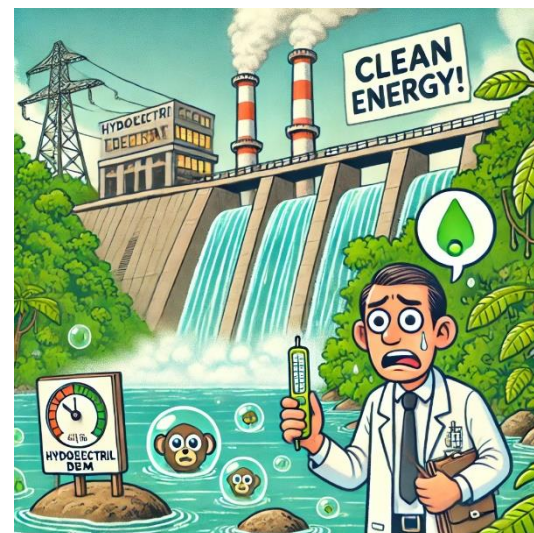
Impactos ambientais

-
- F Home | Current Issue
- HOME / ENVIRONMENT JOSHIMATH C
- Tapovan Vishn
Joshimath cri**
- Vere thorough geological, geo
- ublished : jan 26, 2023 10:45 IST
- A ... país
- Desflorestação**
- Emissões meta**



Emissões associadas ao alagamento

Barragem	Localização	Tipo de Região	Estimativa de Emissões (g CO ₂ eq/kWh)	Fonte
Balbina	Brasil	Tropical	130-150	Fearnside, P. M. (2002). Environmental Science & Policy
Belo Monte	Brasil	Tropical	100	Almeida et al. (2019). Science Advances
Three Gorges	China	Temperado	25-35	Chen et al. (2016). Journal of Hydrology
Alqueva	Portugal	Mediterrâneo	<10	Faria et al. (2015). Nature Climate Change
Itaipu	Brasil-Paraguai	Subtropical	7-10	Santos et al. (2006). Climatic Change



PORTUGAL

Grande hídrica

Quadro 1.2.4 – Capacidade de armazenamento e potência hidroelétrica instalada por bacia hidrográfica

Bacia hidrográfica	Afluências anuais actuais (hm ³)	Capacidade útil das albufeiras (hm ³)	Capacidade útil das albufeiras em % das afluências	Potência hidroelétrica (MW)
Lima	3 000	355	12%	650
Cávado	2 300	1 142	50%	630
Douro	18 500	380	2%	2 000
Vouga	2 000	0	0%	0
Mondego	3 350	361	11%	500
Tejo	12 000	2 355	20%	570
Guadiana	4 500	3 244	72%	250
Sado	1 460	444	30%	0
Mira	330	240	73%	0
Ribeiras Algarve	400	341	85%	0
Total	47 800	8 862	19%	4 600

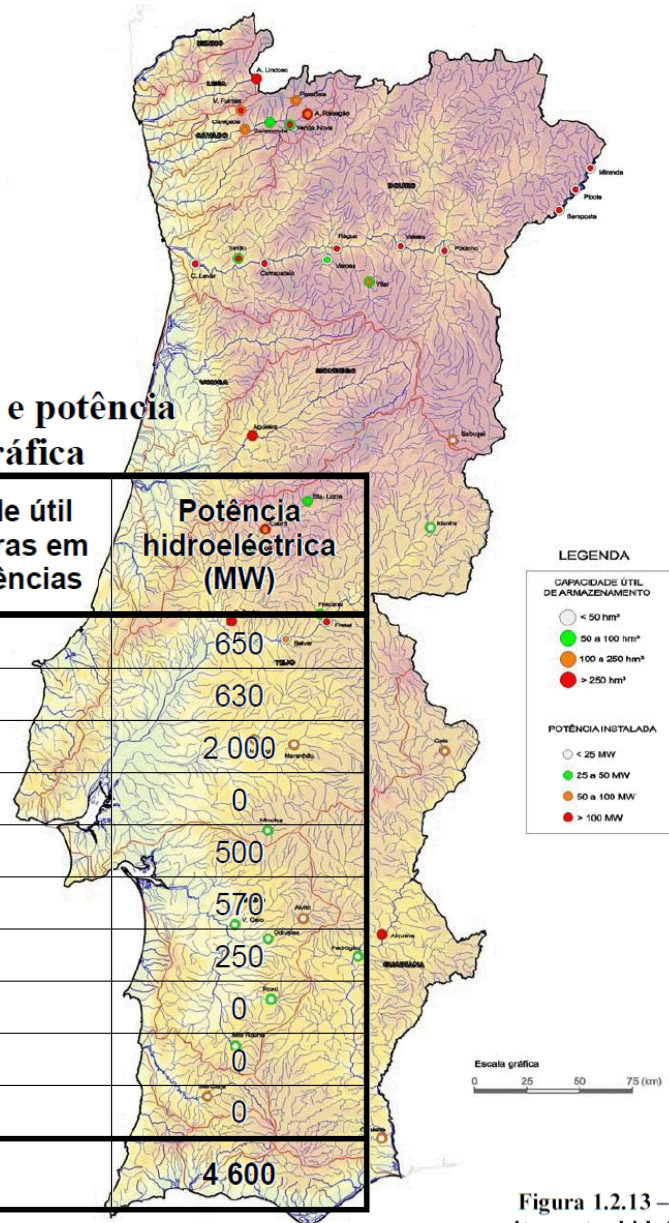
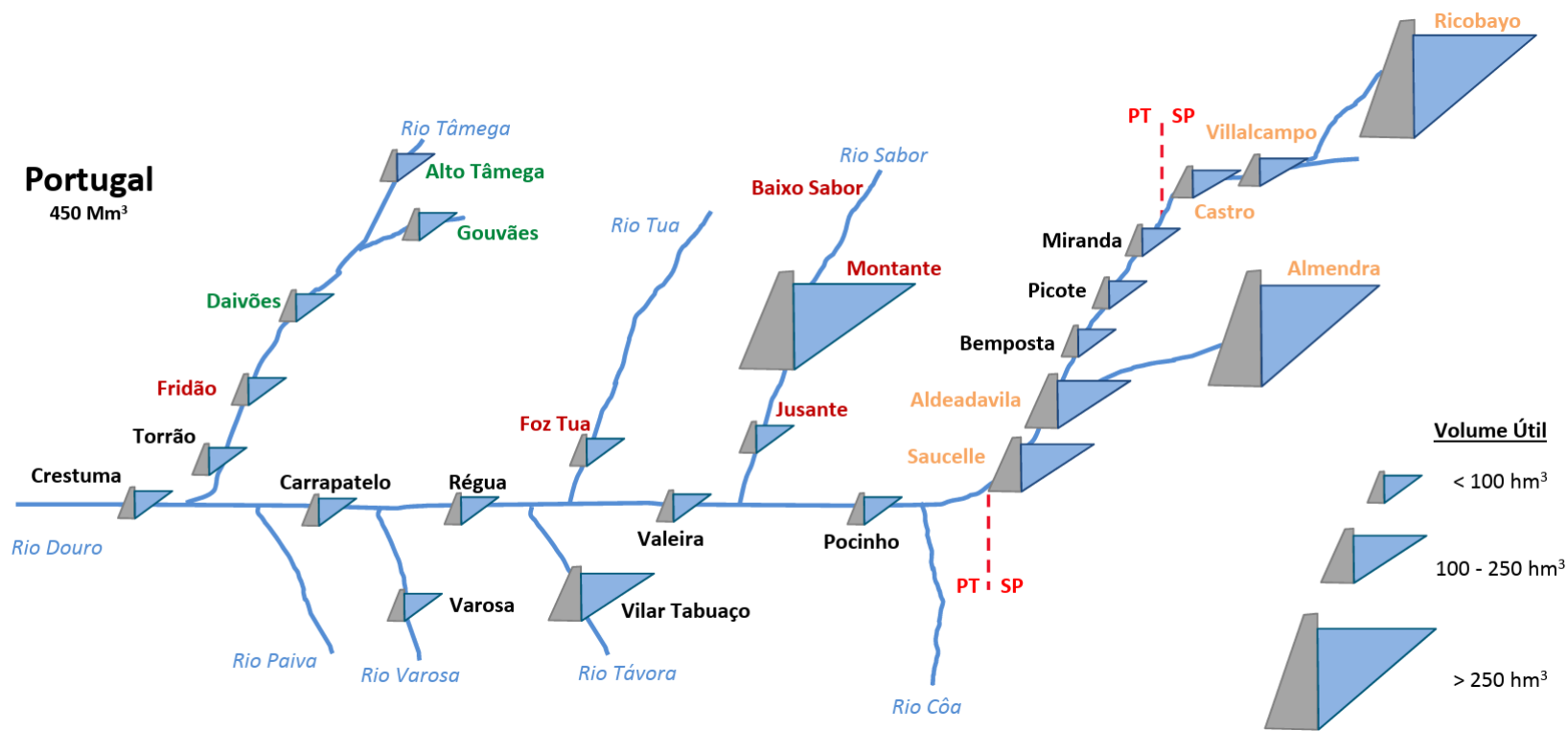


Figura 1.2.13 – Grandes aproveitamentos hidráulicos existentes



PORTUGAL

(Nova) grande hídrica

Principais características dos aproveitamentos seleccionados para o PNBEPH

APROVEITAMENTO	BACIA HIDROGRÁFICA	RIO	TIPO	ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA (km ²)	CAPACIDADE DA ALBUFEIRA (hm ³)	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	ENERGIA PRODUZIDA (GWh/ano)
Foz Tua	Douro	Tua	Reversível	3 822	310	234	340
Fridão	Douro	Tâmega	-	2 630	195	163	299
Padroselos	Douro	Beça/Tâmega	Reversível	315	147	113	102
Gouvães	Douro	Torno/Tâmega	Reversível	100	13	112	153
Daivões	Douro	Tâmega	Reversível	1 984	66	109	148
Alto Tâmega (Vidago)	Douro	Tâmega	Reversível	1 557	96	90	114
Almourol	Tejo	Tejo	-	67 323	20	78	209
Pinhosão	Vouga	Vouga	Reversível	401	68	77	106
Girabolhos	Mondego	Mondego	Reversível	980	143	72	99
Alvito	Tejo	Ocreza	-	968	209	48	62
TOTAL.....					1 266	1 096	1 632

Figura 7.1 – Localização dos aproveitamentos seleccionados para o PNBEPH

Barragens

Pesquisar... 🔍

Rios

▼

Tipos de utilização ⓘ

- ☐ Energia
- ☐ Recreio
- ☐ Abastecimento
- ☐ Indefinido
- ☐ Derivação
- ☐ Navegação
- ☐ S.A.
- ☐ Defesa de Cheias
- ☐ Irrigação
- ☐ Outros

% de armazenamento

☒ Bacias Hidrográficas

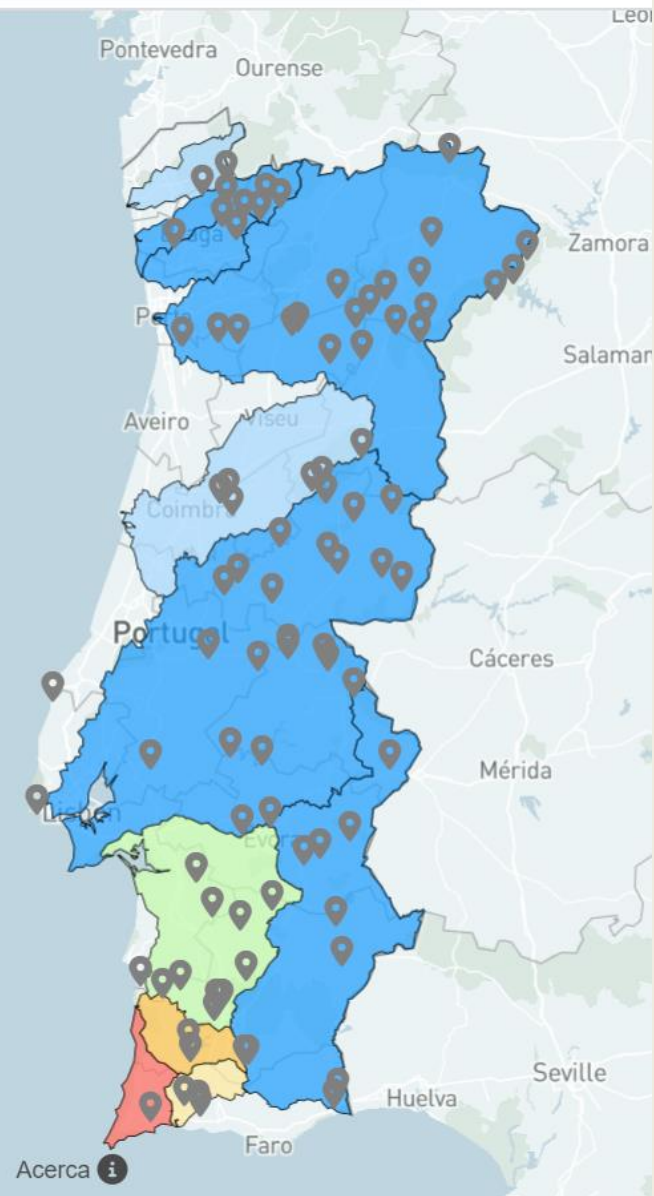
☐ Barragens



BARRAGENS.PT

% Armazenamento

- 0 - 20
- 21 - 40
- 41 - 50
- 51 - 60
- 61 - 80
- 81 - 100



Barragens

Pesquisar... 🔍

Rios

▼

Tipos de utilização ⓘ

- ☒ Energia
- ☐ Recreio
- ☐ Abastecimento
- ☐ Indefinido
- ☐ Derivação
- ☐ Navegação
- ☐ S.A.
- ☐ Defesa de Cheias
- ☐ Irrigação
- ☐ Outros

% de armazenamento

☒ Bacias Hidrográficas

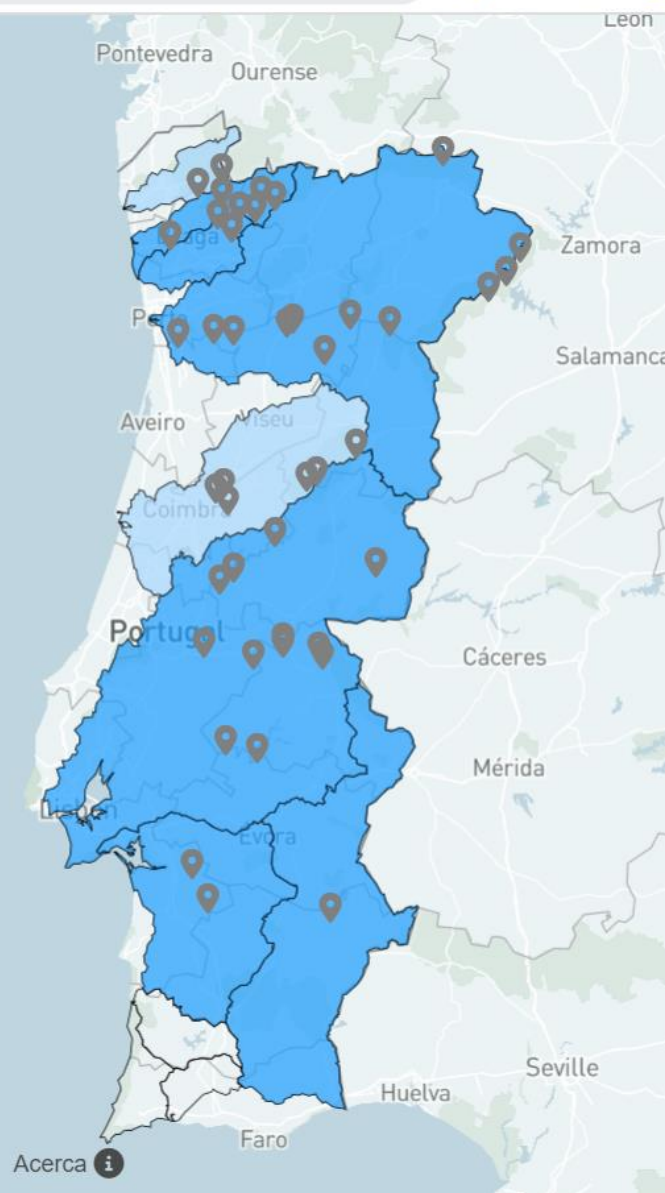
☐ Barragens



BARRAGENS.PT

% Armazenamento

- 0 - 20
- 21 - 40
- 41 - 50
- 51 - 60
- 61 - 80
- 81 - 100



PORTUGAL

Pequena hídrica

115 pequenos aproveitamentos hidroeléctricos (≤ 10 MW), com potência global de cerca de 340 MW.

