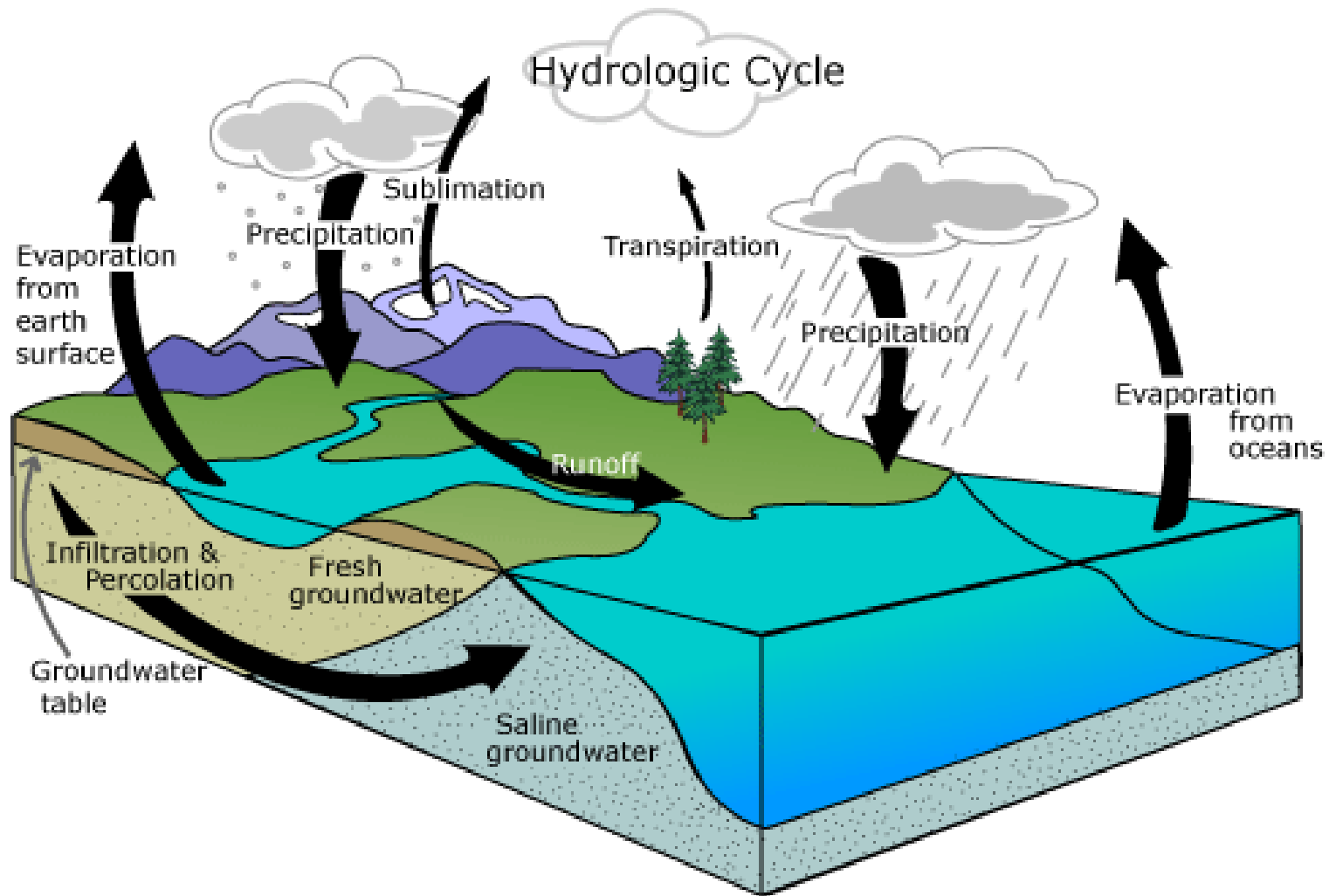




# Energia hidroeléctrica

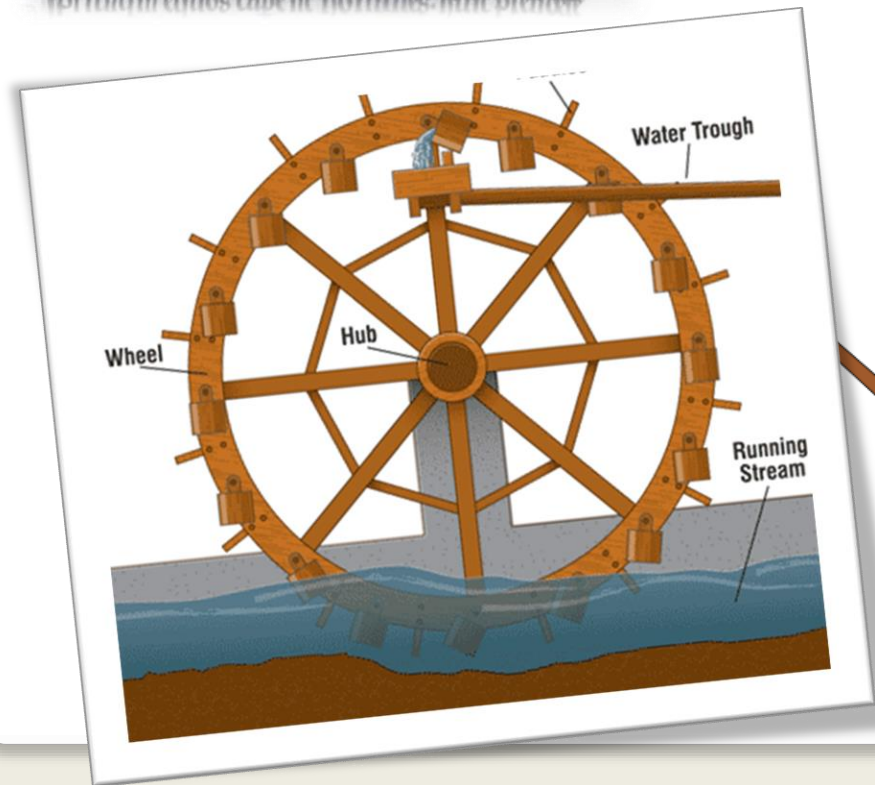
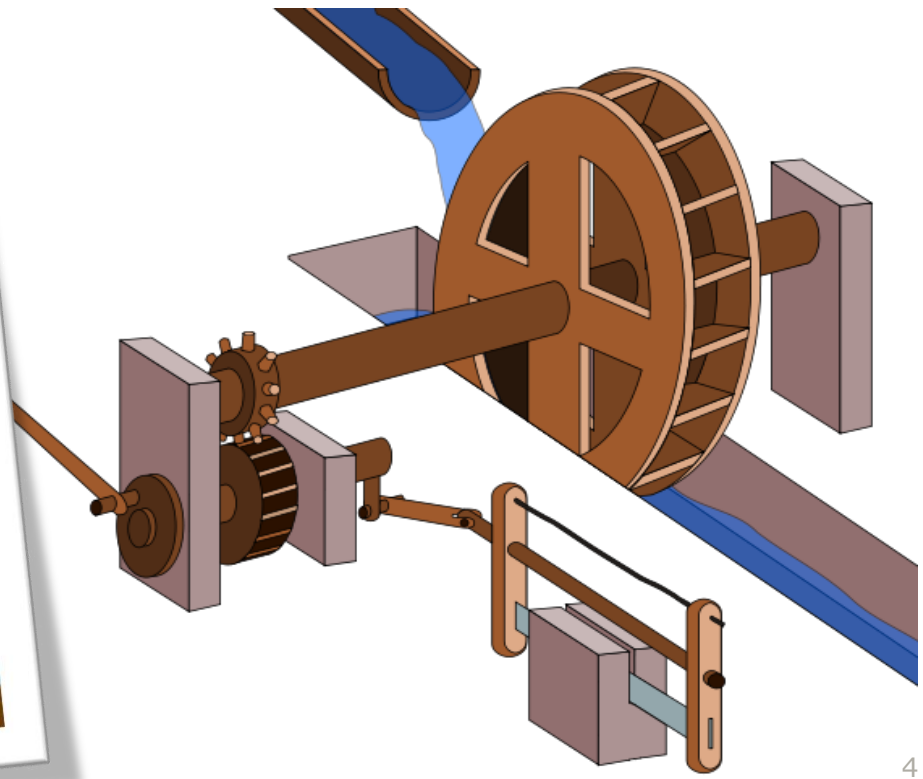
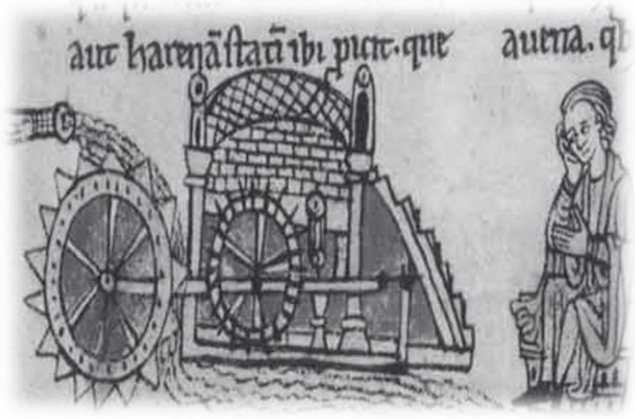
## Energias Renováveis

Miguel Centeno Brito

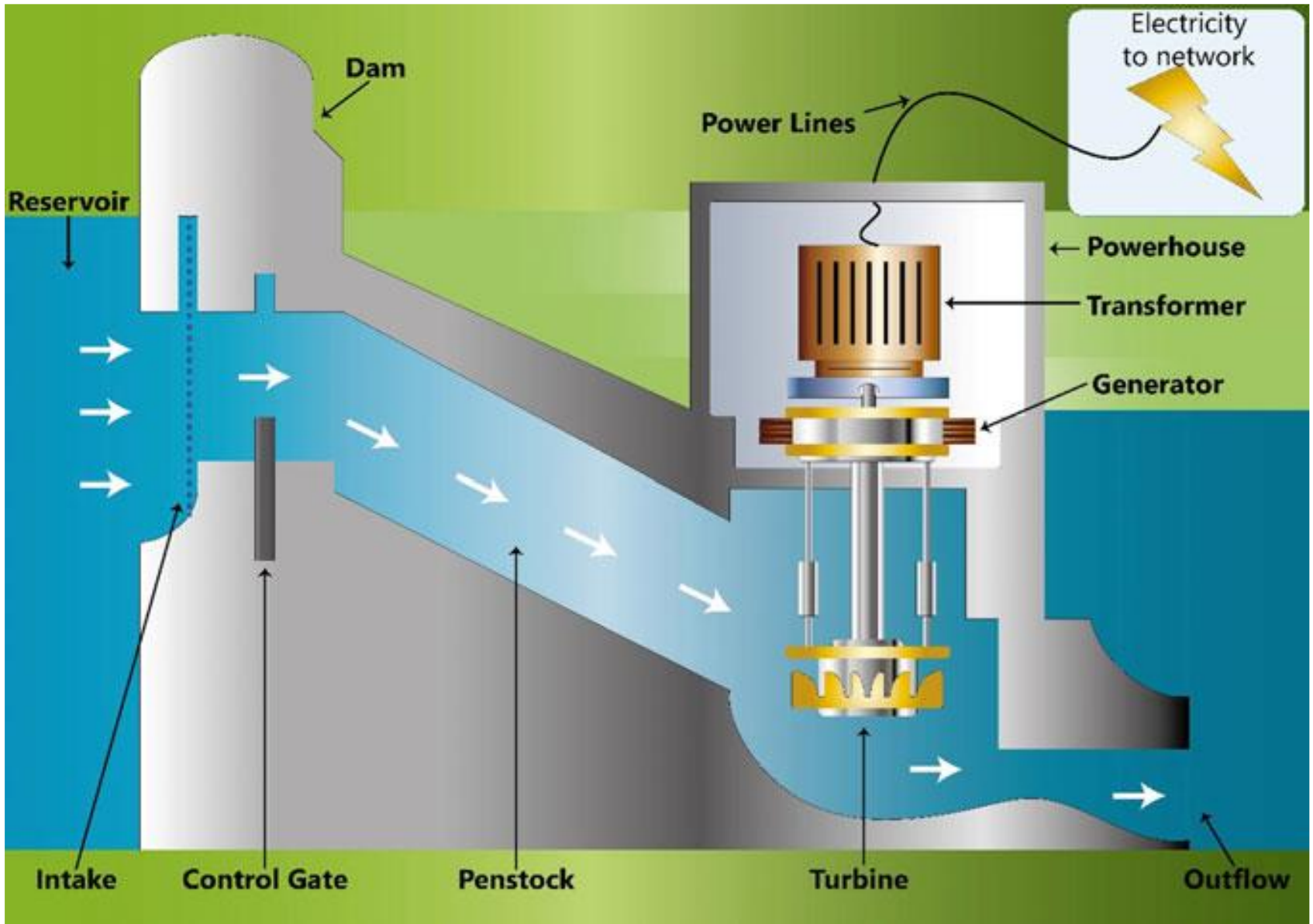


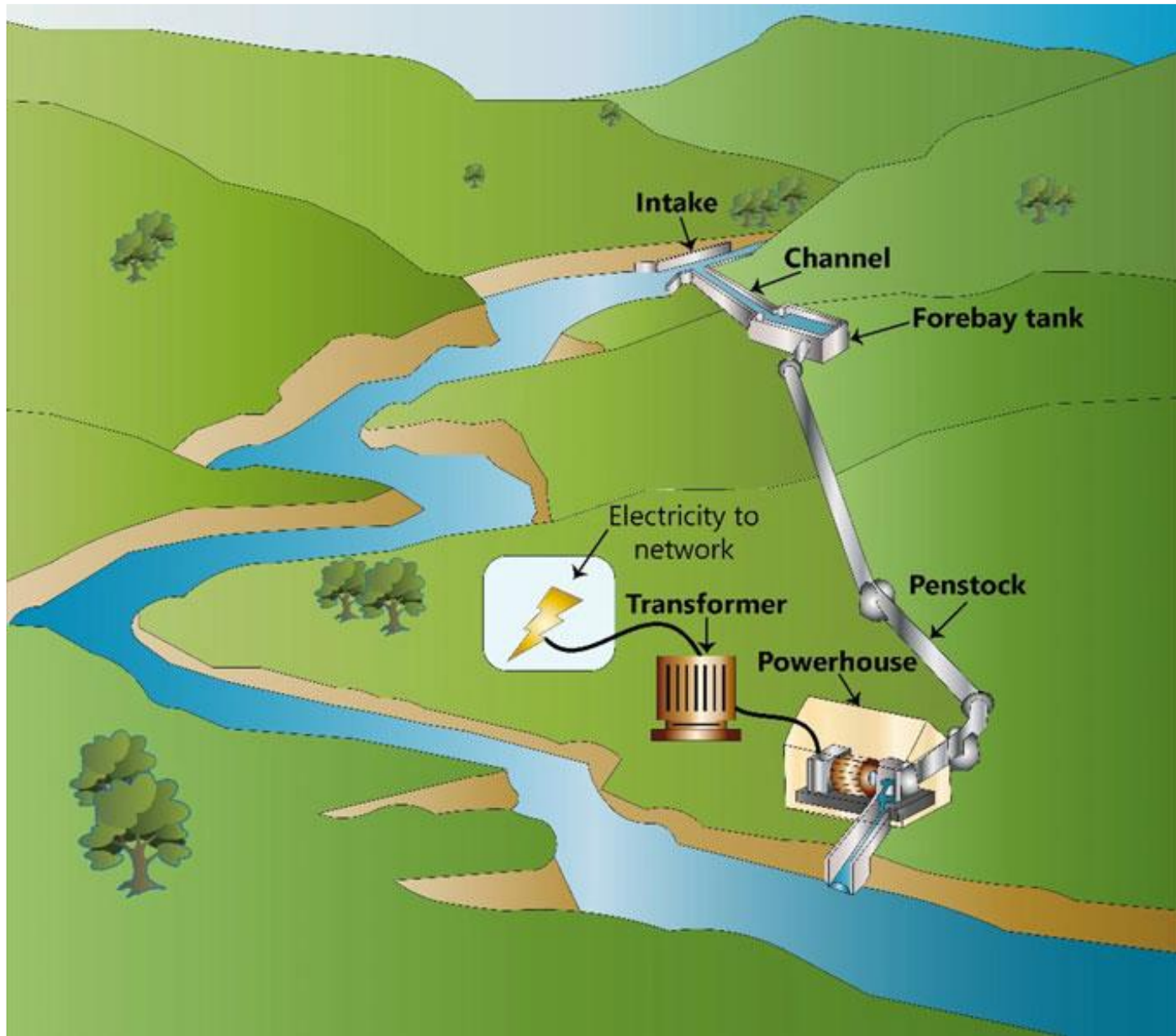


simus & asellus ascendendo dicitur. qd asellus  
dicitur. sed hoc nomen qd magis equis  
ueniebat: ideo hoc animal simpsit. qd  
primum equos capere homines. hunc presider









## ENERGIA HÍDRICA

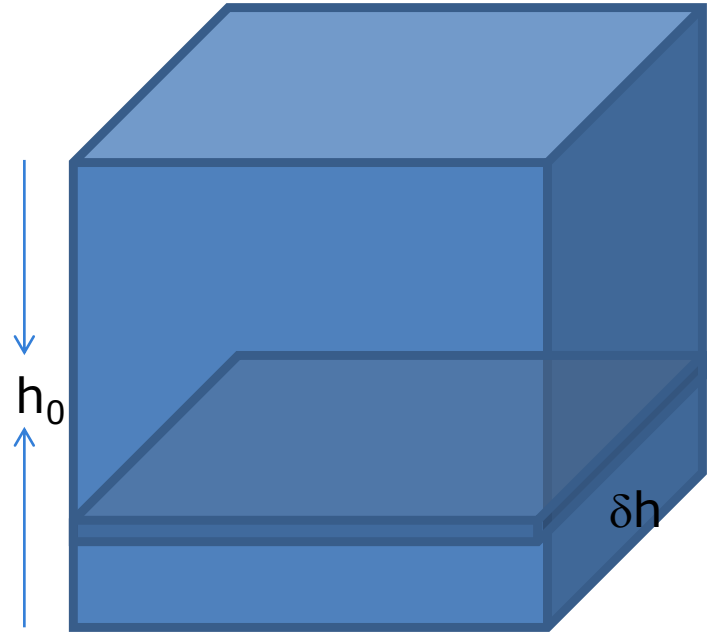
Qual a energia potencial gravítica num volume de água?

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

$$E_p = \int_0^{h_0} dE_p dh = \int_0^{h_0} \rho A g h dh$$

$$= \rho A g \frac{h_0^2}{2} = \rho (A h_0) g \frac{h_0}{2}$$

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



e.g. Alto Rabagão

Área 2200ha;

Desnível 130m;

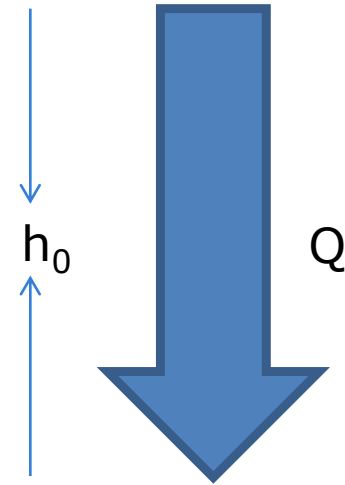
Produção média anual  $115 \times 10^6$  kWh

## ENERGIA HÍDRICA

Qual a potência mecânica de um curso de água?

$$P_m = \rho g Q h_0$$

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



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

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

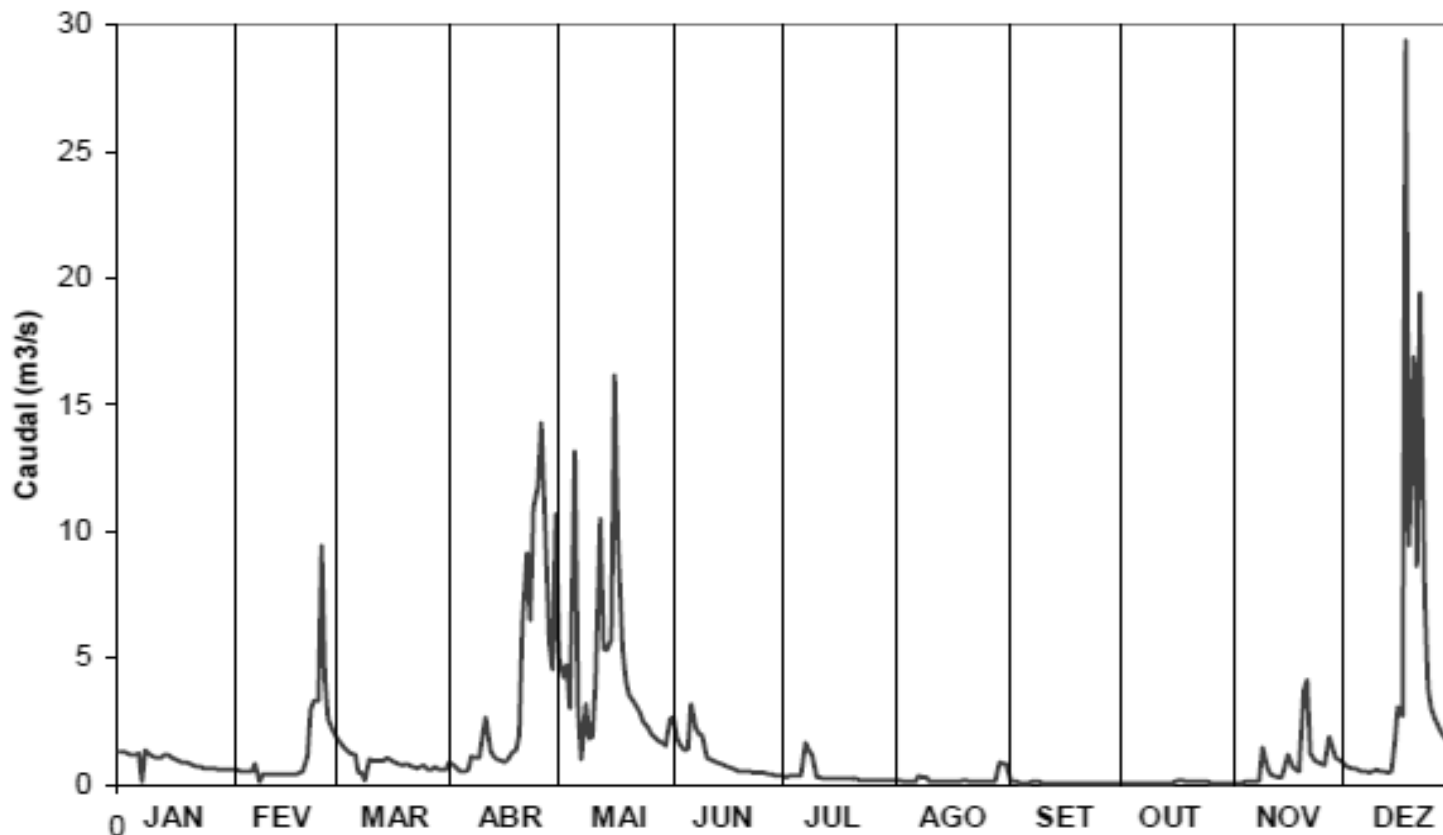
*eficiência da turbina (80%) x eficiência gerador (98%)*



# ENERGIA HÍDRICA

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

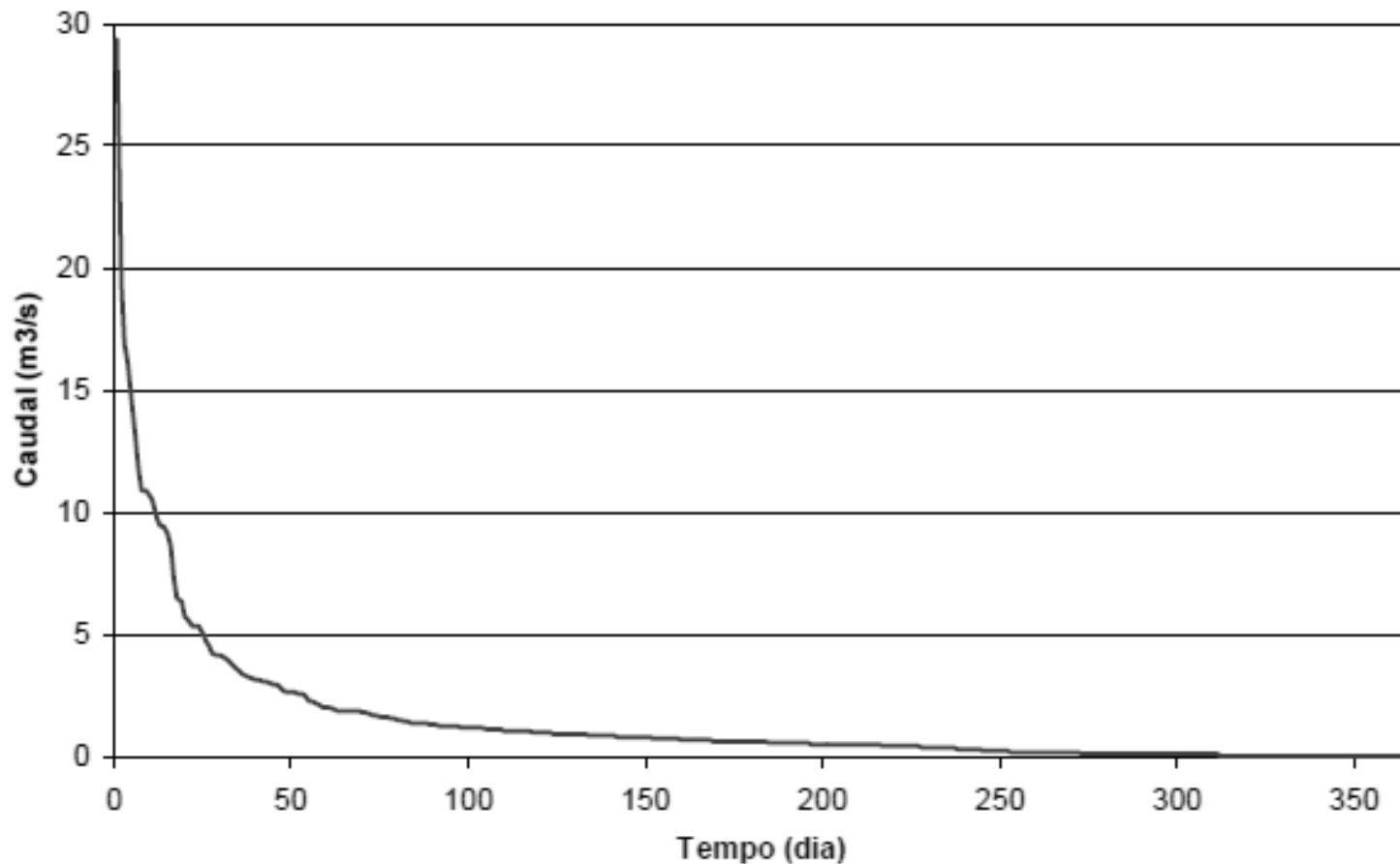
Na realidade o caudal não é constante.



# ENERGIA HÍDRICA

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

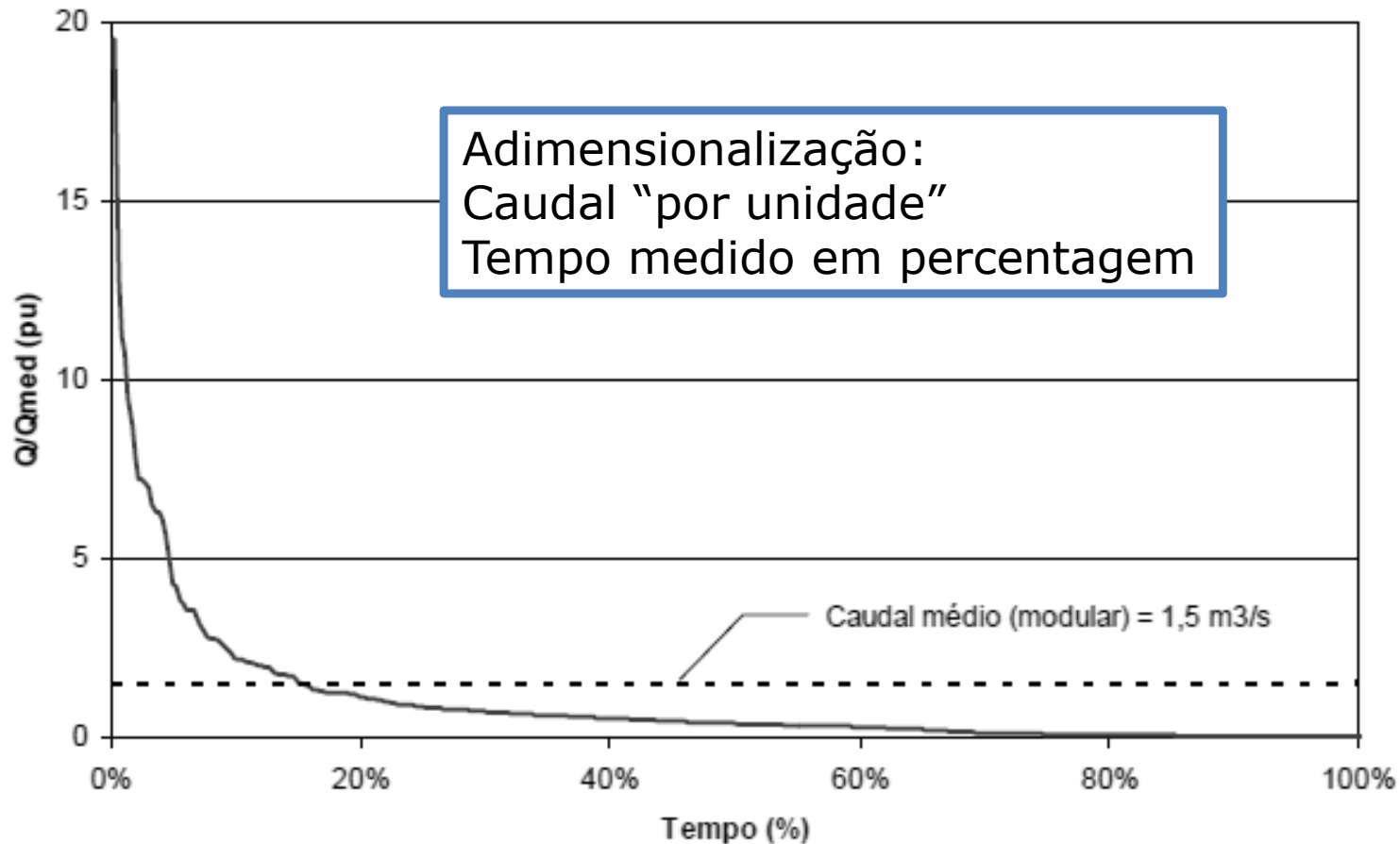
Na realidade o caudal não é constante.



# ENERGIA HÍDRICA

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

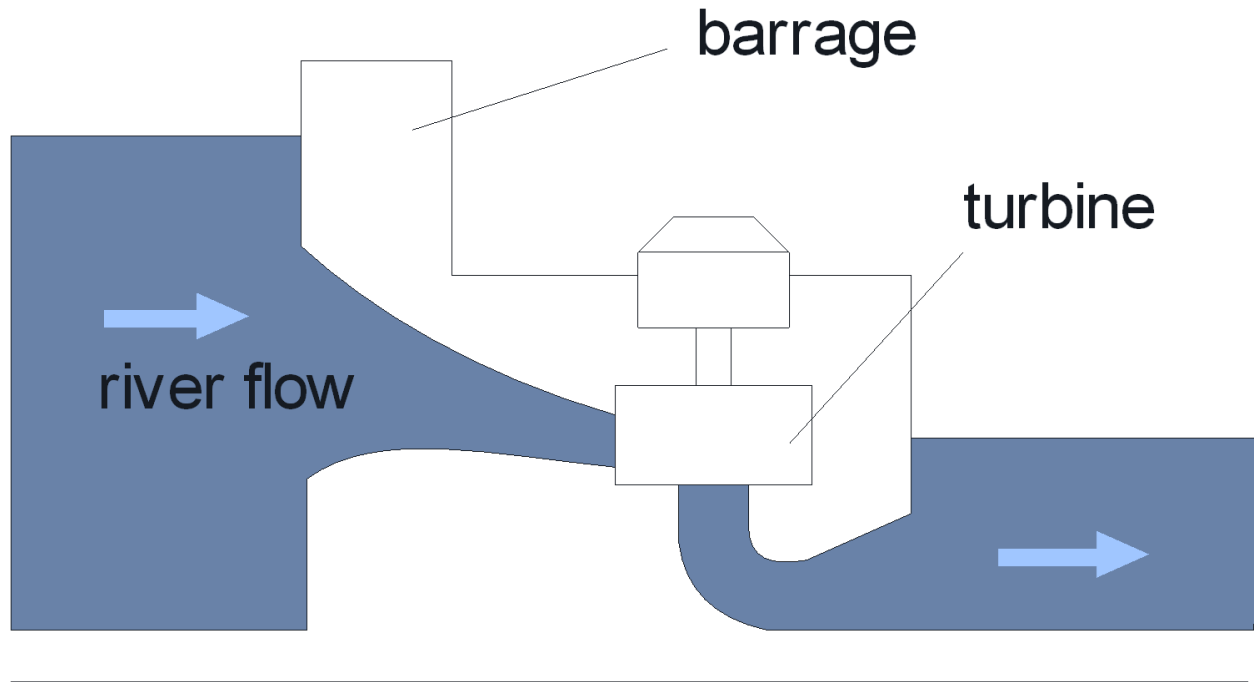
Na realidade o caudal não é constante.



## **TIPOS DE APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICOS**

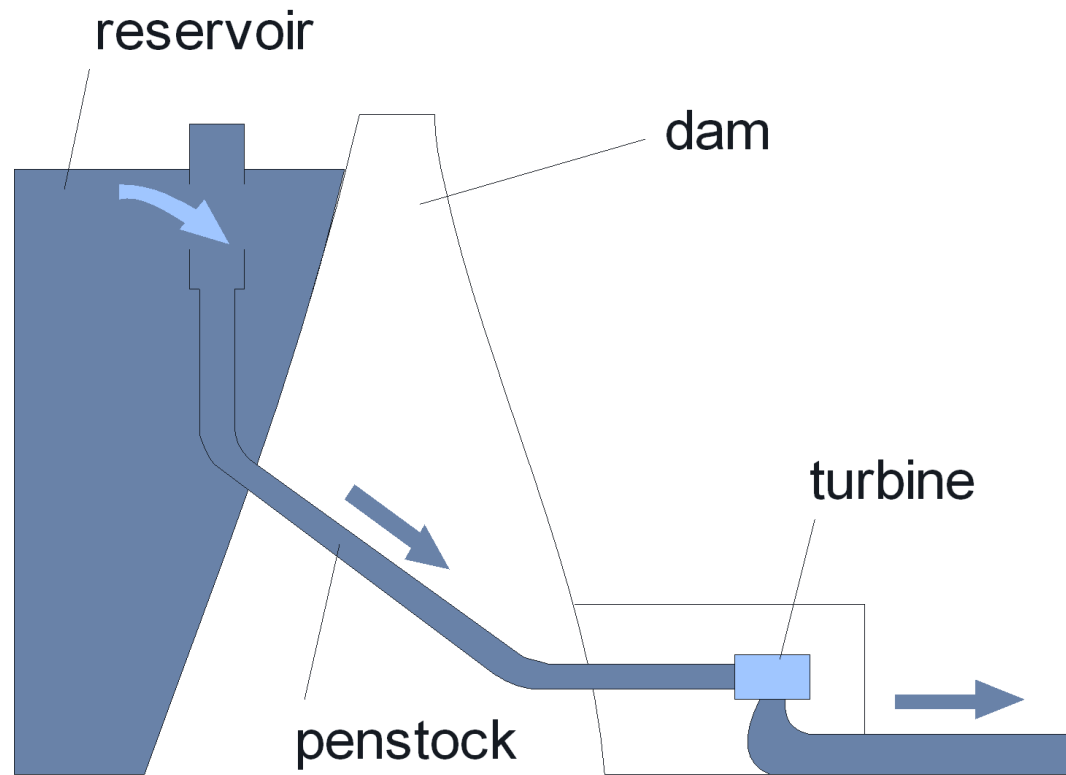
Fio de água ou

Albufeira, reversível ou não.

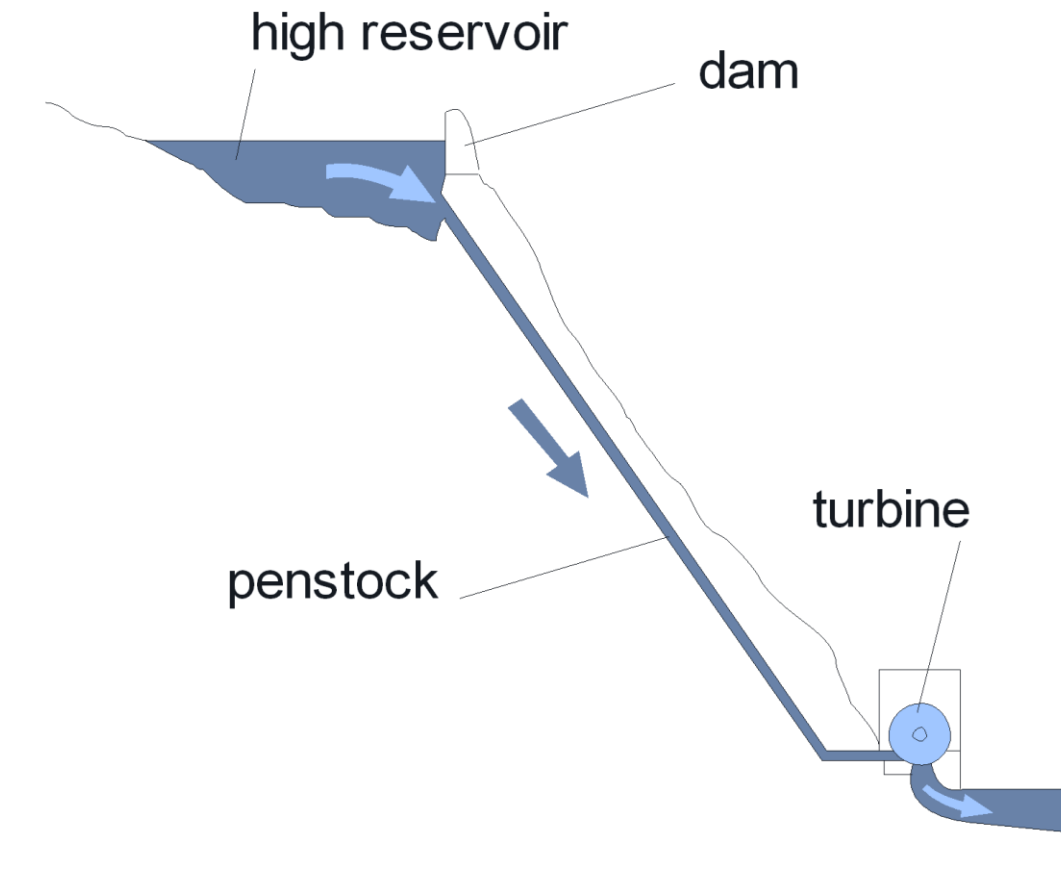


(a) low head





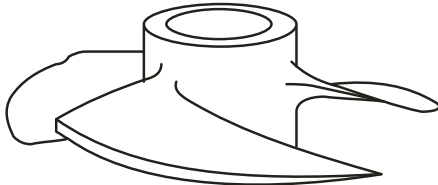
(b) medium head



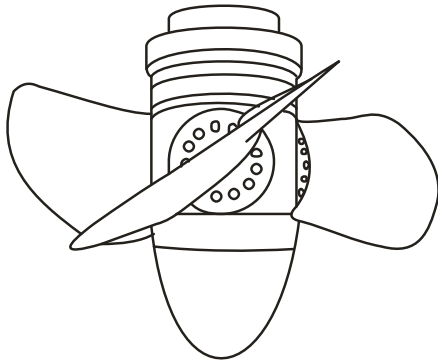
(c) high head

# TIPOS DE TURBINA

a)

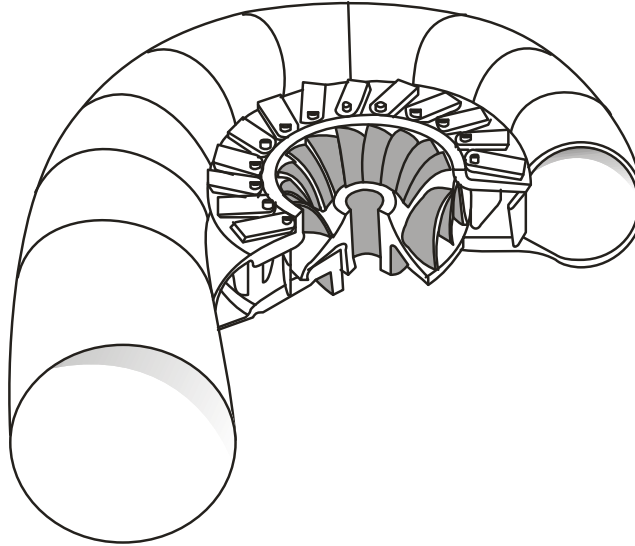


Fixed blades

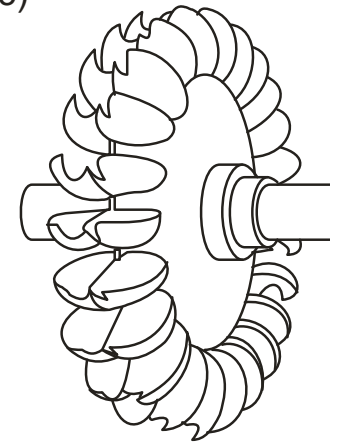


Adjustable blades (Kaplan)

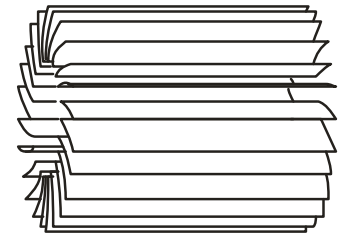
b)



c)

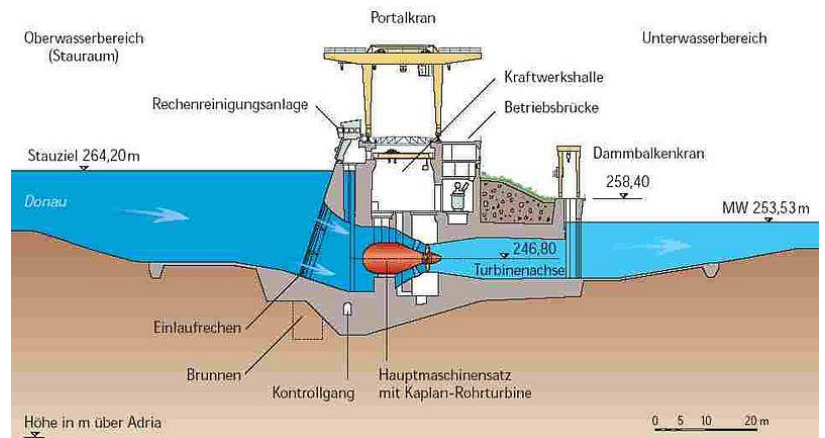
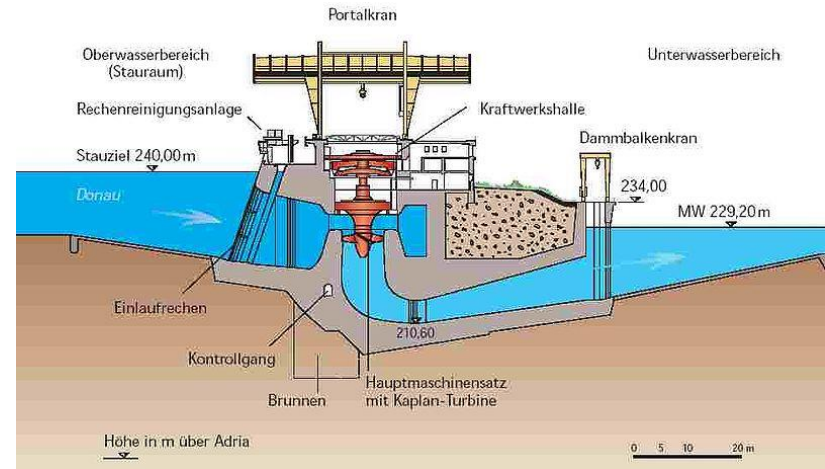
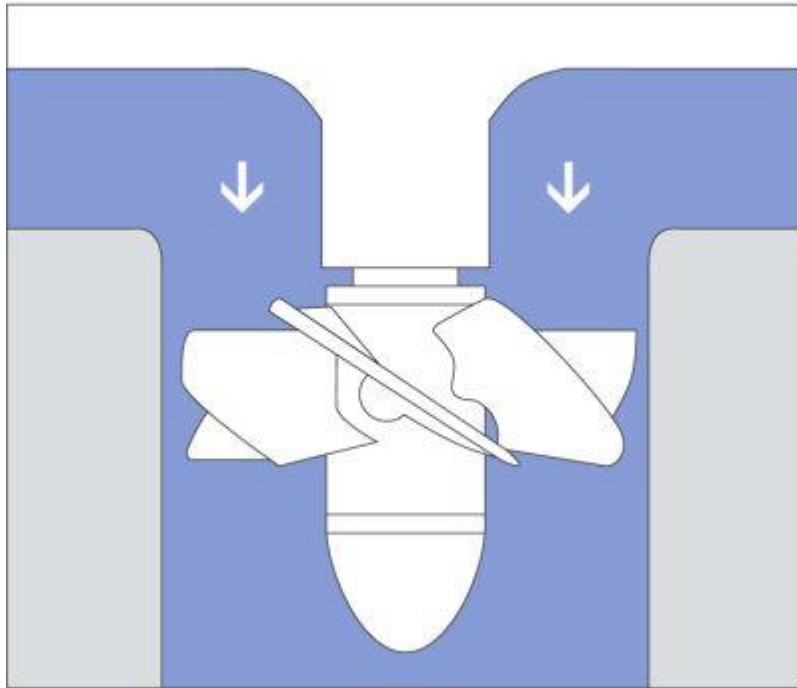


d)

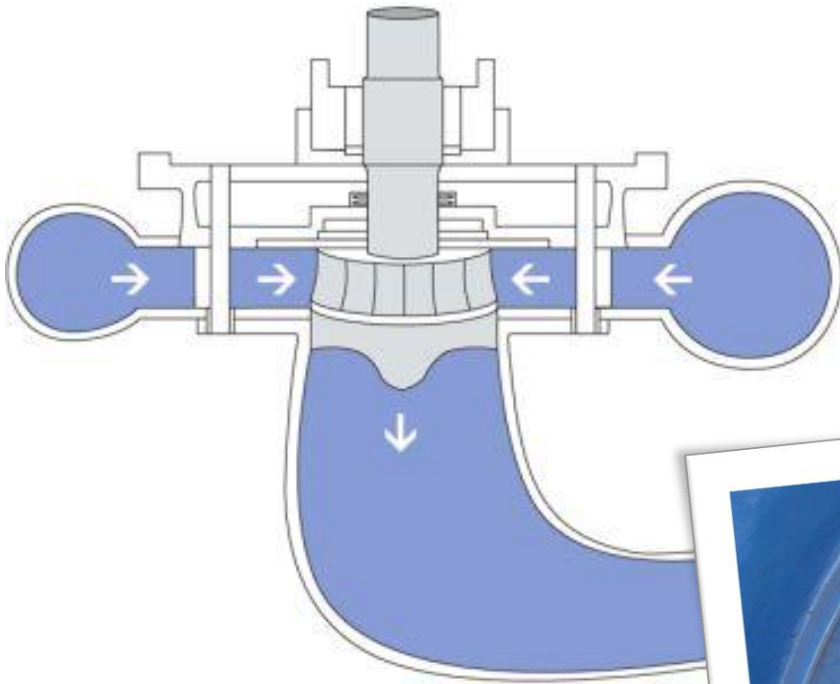


*Four runner designs used in hydroelectric turbines: (a) propeller type, with either fixed blades or adjustable blades (the Kaplan turbine), (b) Francis type, (c) Pelton wheel type, and (d) cross-flow type*

# Turbina Kaplan



# Turbina Francis







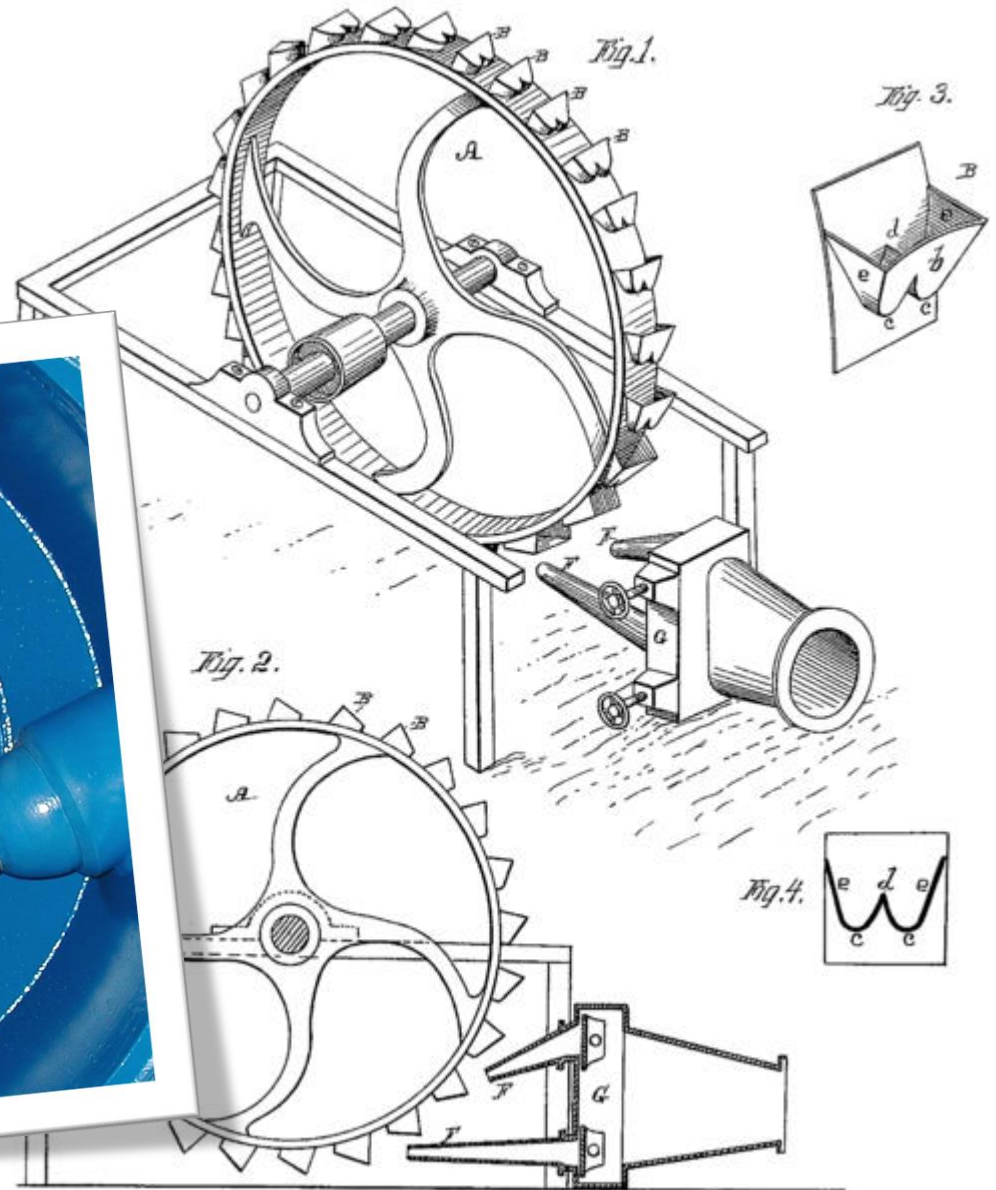
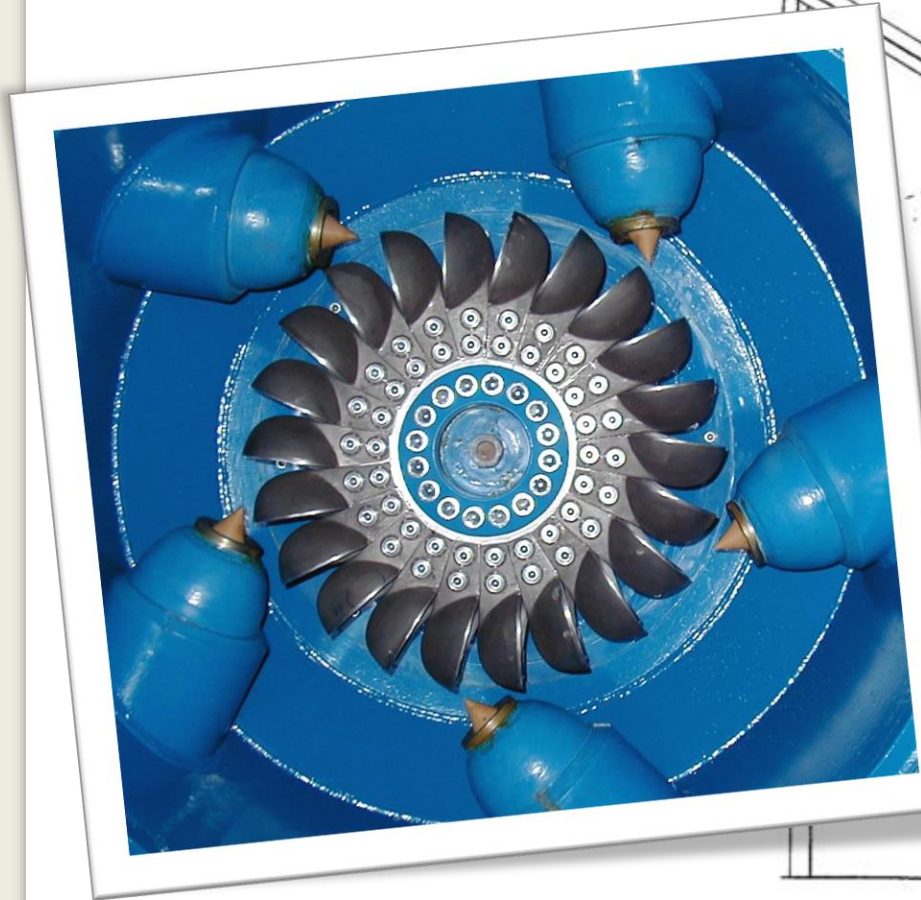
八局  
转轮顺利吊入厂房

35  
FC 030058

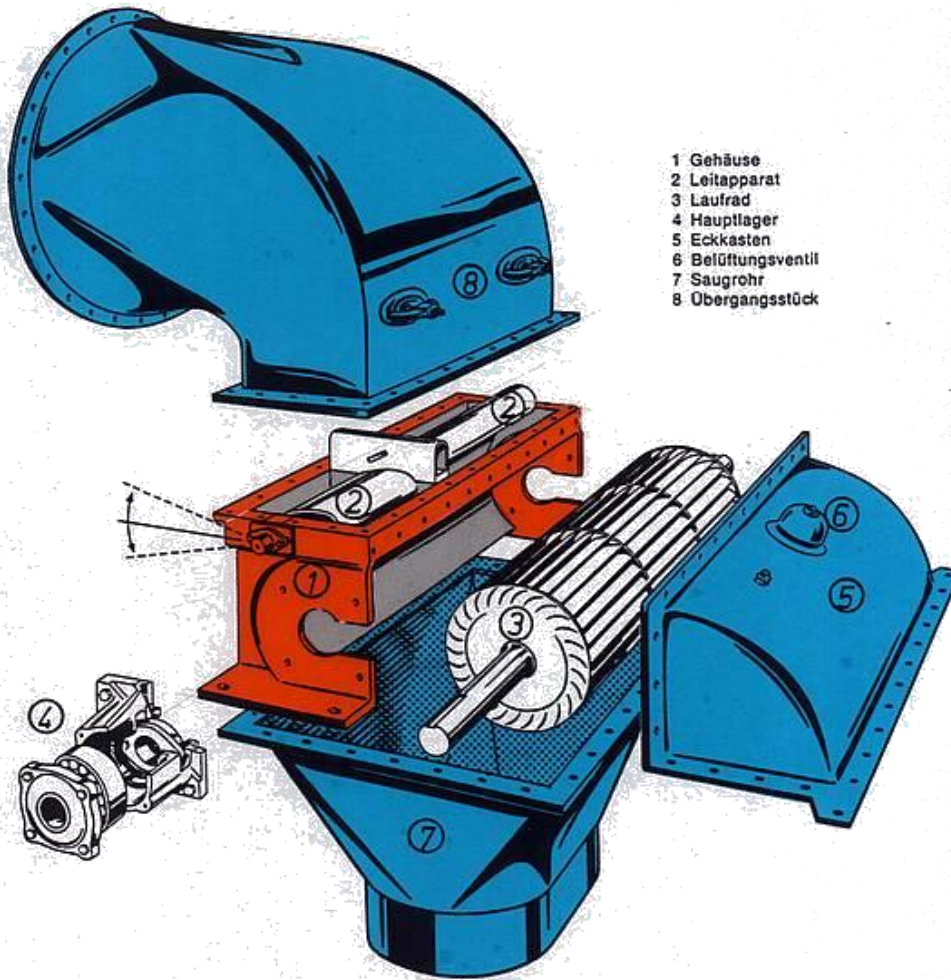
SeaLand



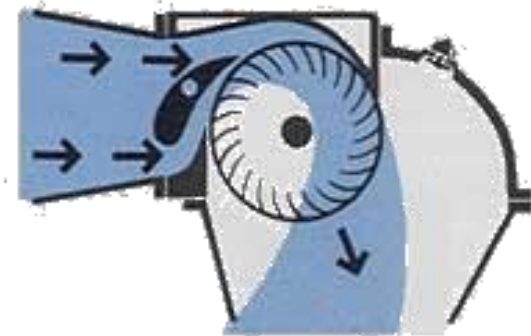
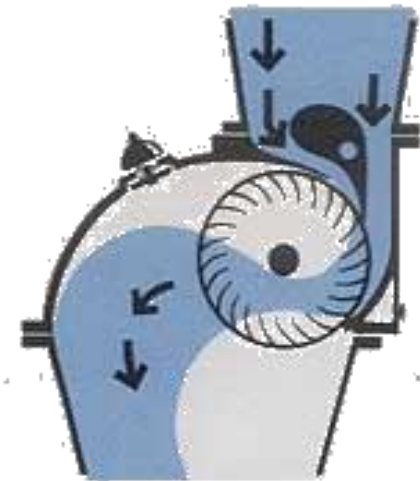
# Turbina Pelton



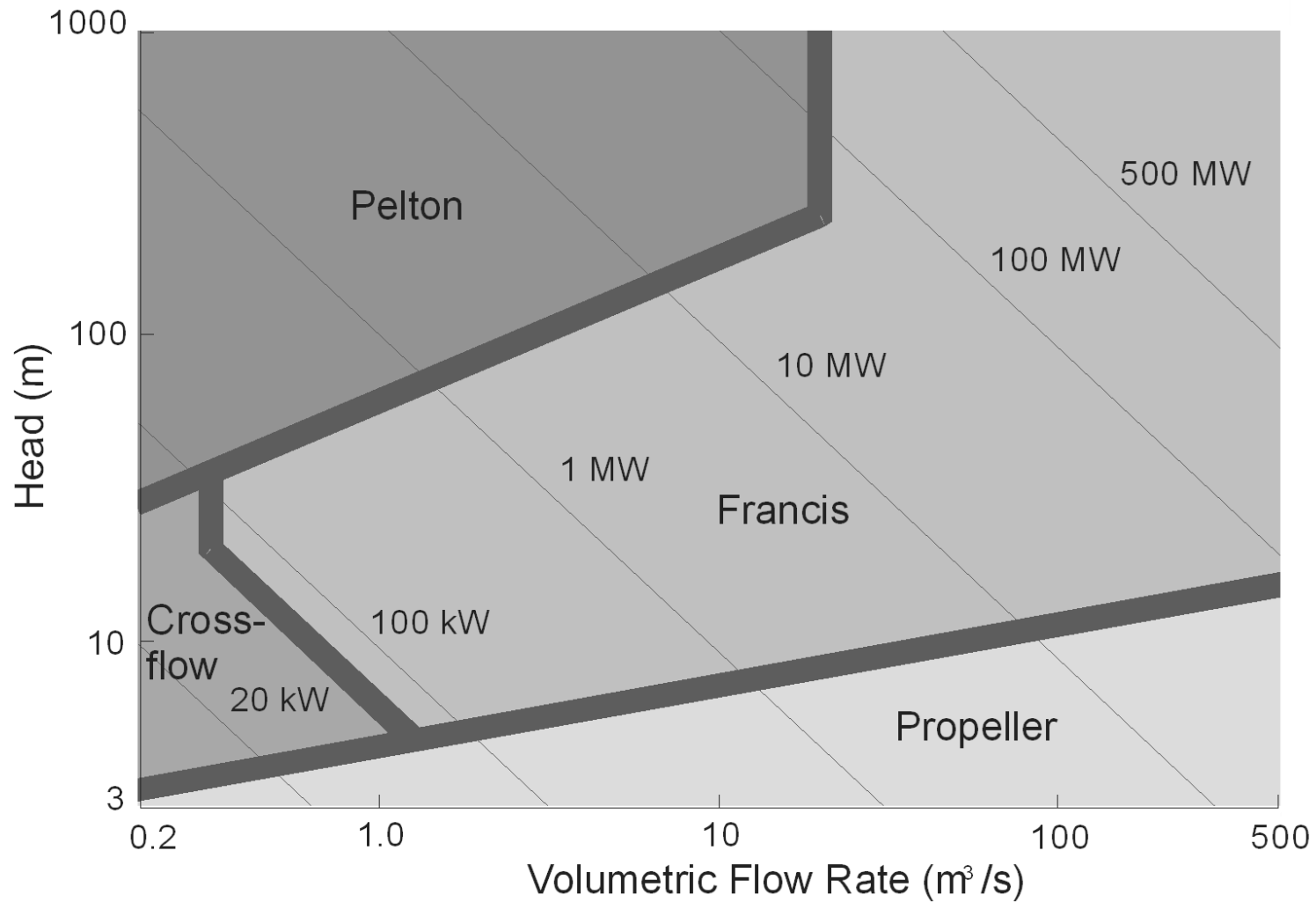
# Turbina Banki (cross flow)



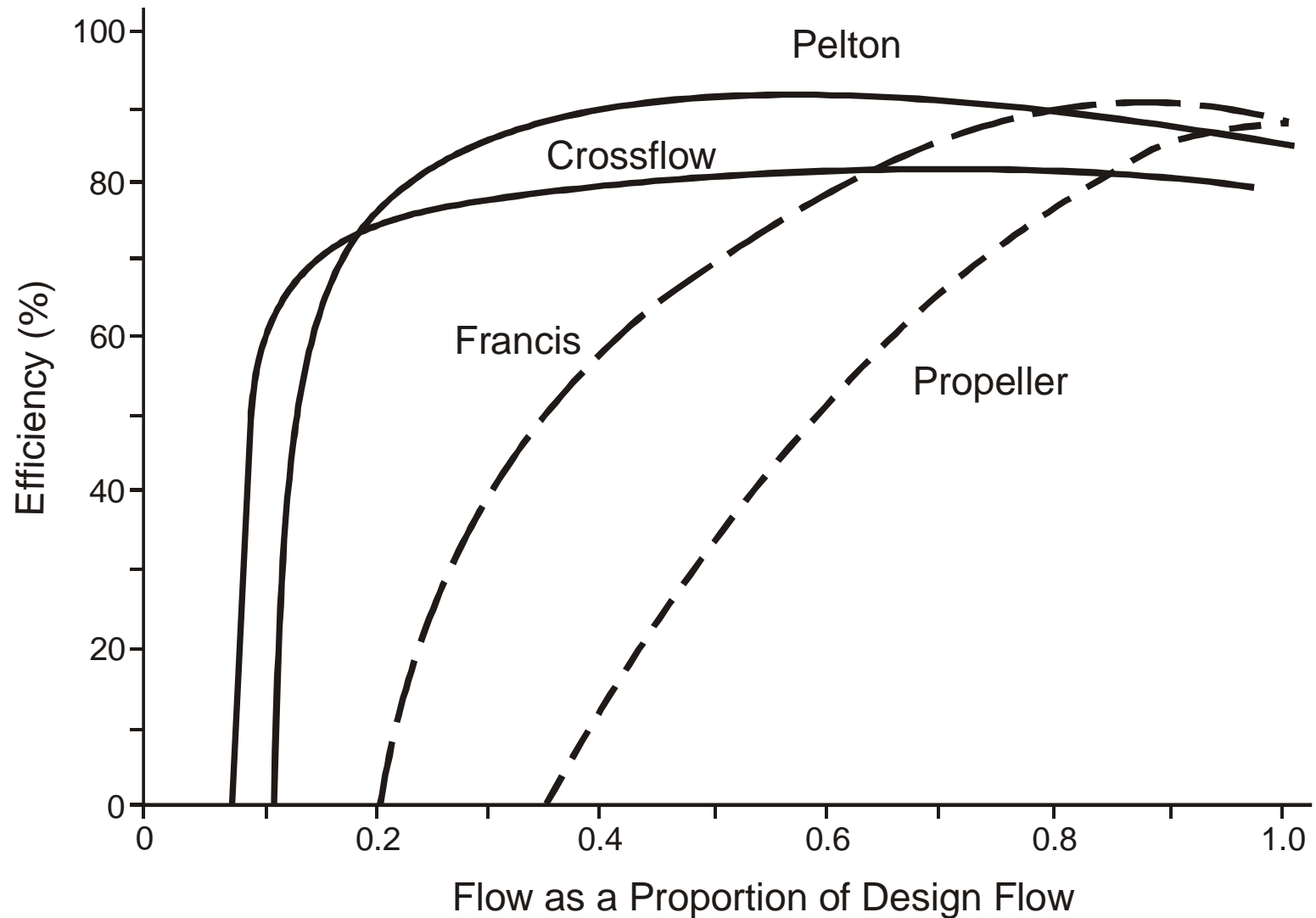
- 1 Gehäuse
- 2 Leitapparat
- 3 Laufrad
- 4 Hauptlager
- 5 Eckkasten
- 6 Belüftungsventil
- 7 Saugrohr
- 8 Übergangsstück



# TIPOS DE TURBINA



# TIPOS DE TURBINA



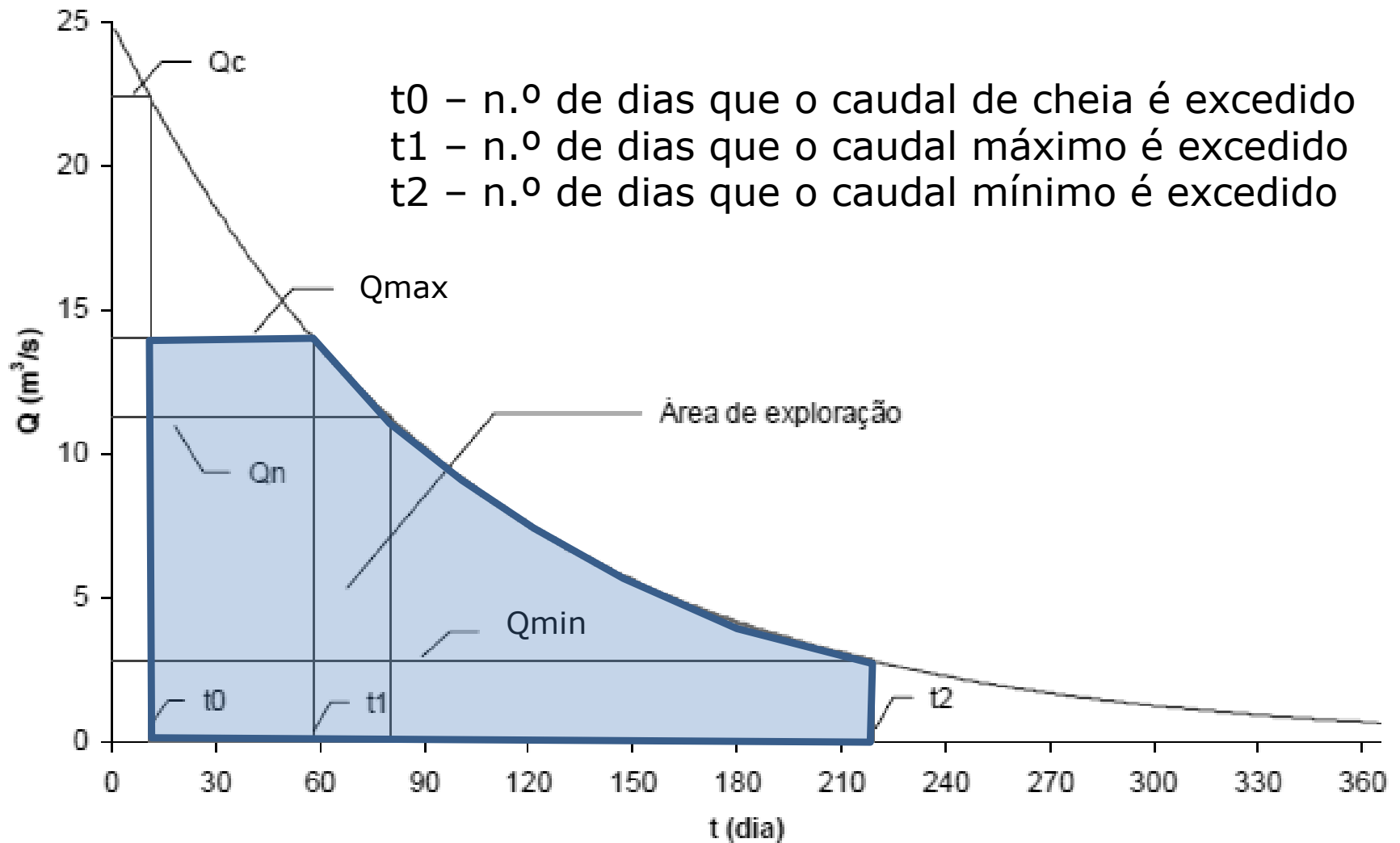


## TIPOS DE TURBINA

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

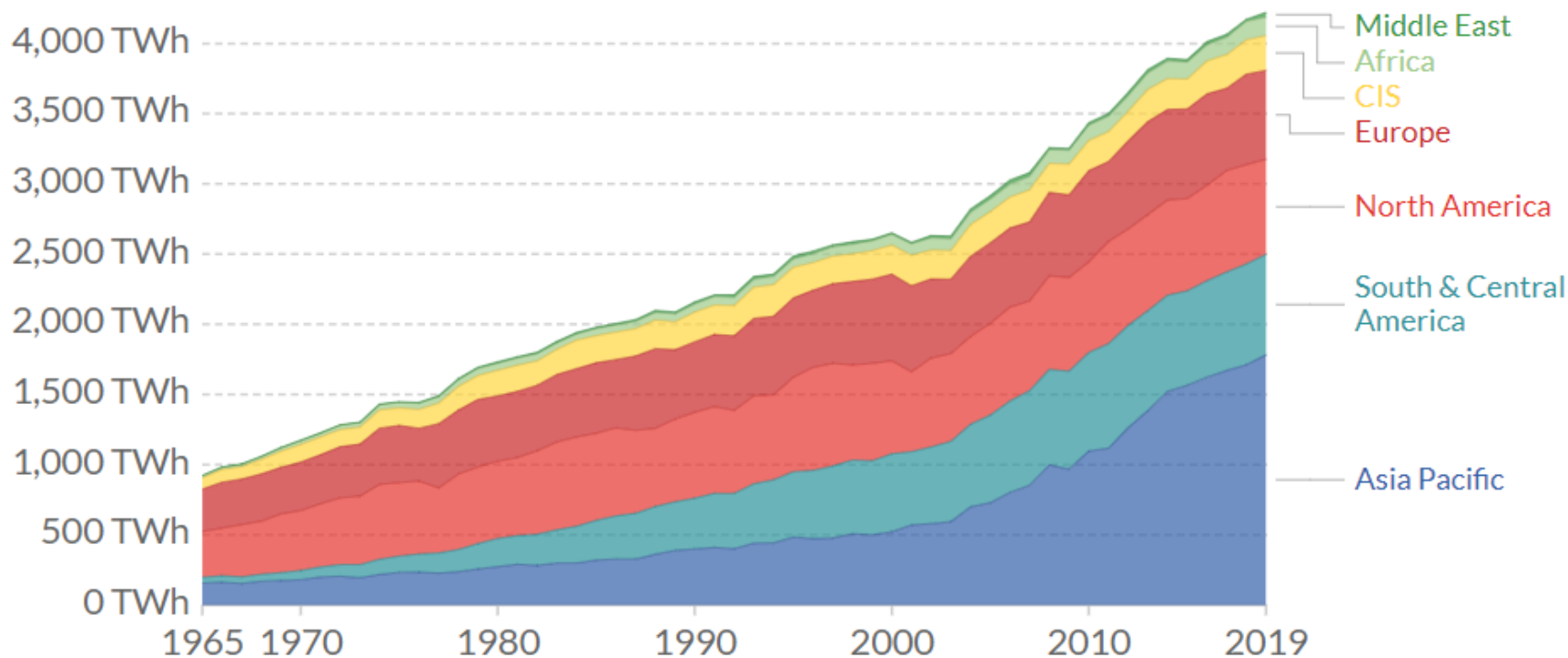


# Hydropower generation by region

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

Our World  
in Data

Relative



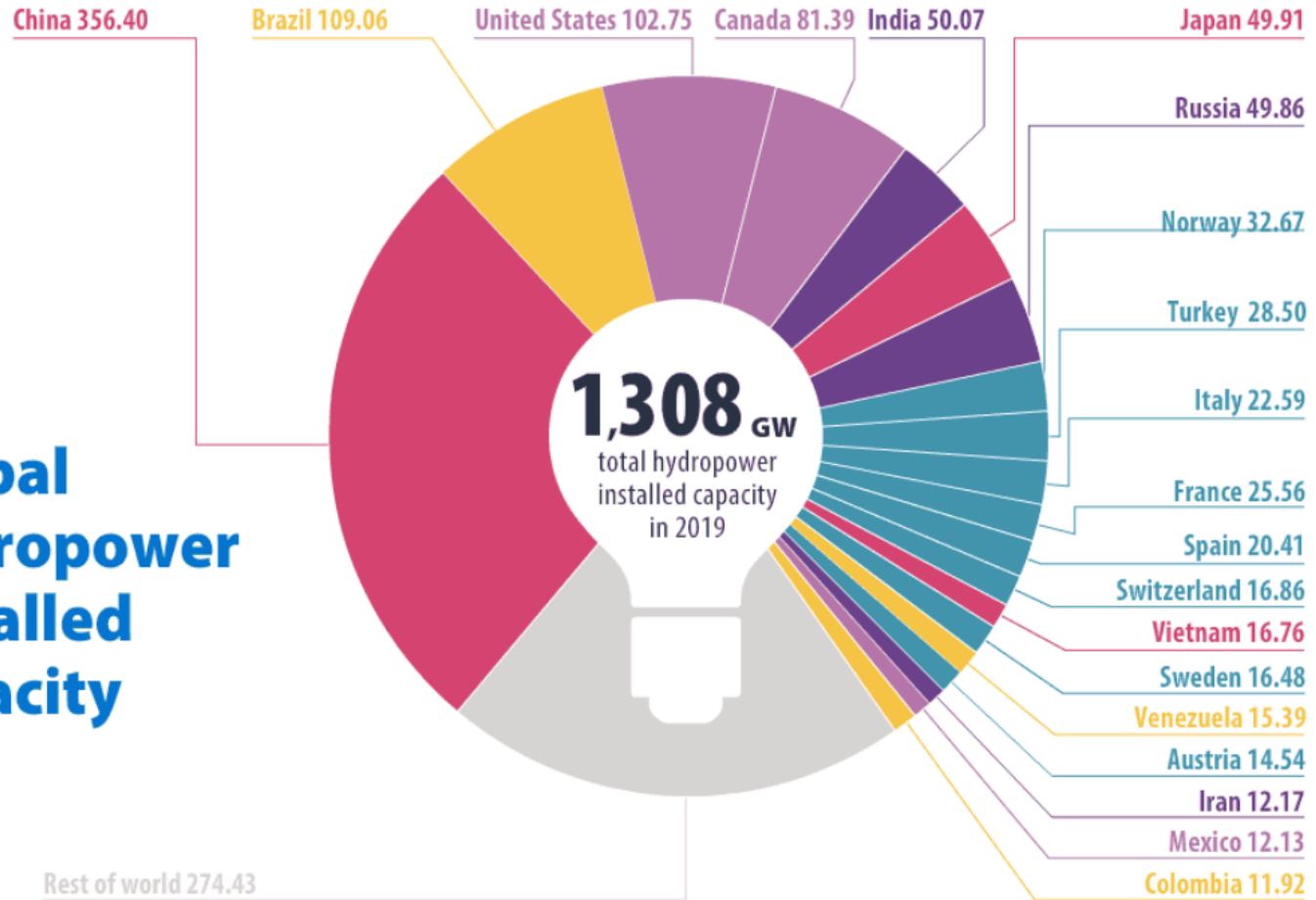
Source: BP Statistical Review of Global Energy (2020)

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


OurWorldInData.org/renewable-energy • CC BY

# World hydropower map

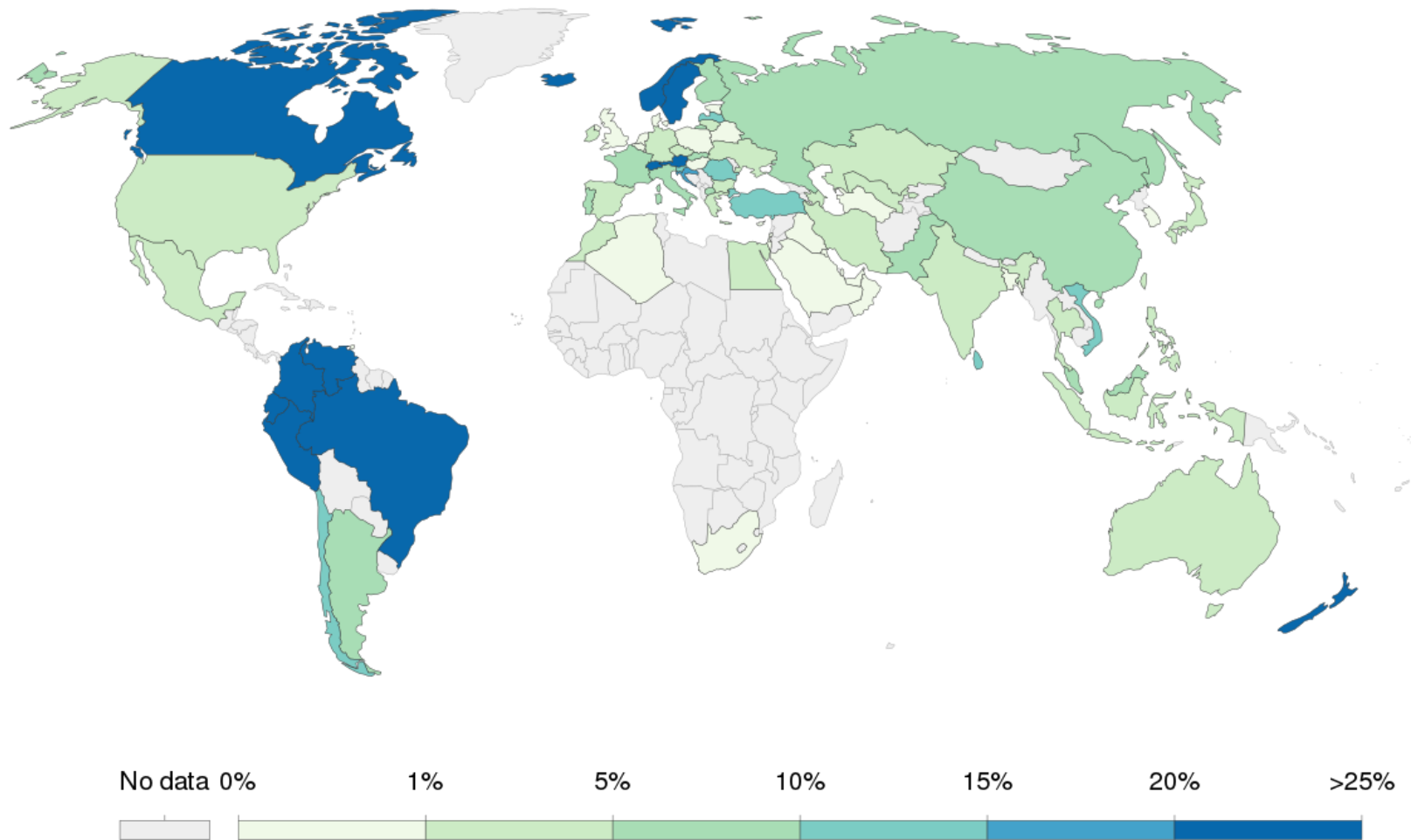
## Global hydropower installed capacity



## As maiores barragens do mundo

Name		River	Installed	Annual	Area	Years of completion
			capacity	production	flooded	
			(MW)	(TWh)	(km <sup>2</sup> )	
Three Gorges Dam		Yangtze	22500	103.1	1084	2008/2012
Itaipu Dam		Paraná	14000	103	1350	1984/1991, 2003
Xiluodu		Jinsha	13,860	55.2		2014
Belo Monte		Xingu	11,233	39.5	441	2016-2019
Guri		Caroní	10235	53.41	4250	1978, 1986
Tucuruí		Tocantins	8370	41.43	3014	1984, 2007
Grand Coulee		Columbia	6809	20	324	1942- 1991
Xiangjiaba		Jinsha	6448	30.7	95.6	2014
Longtan Dam		Hongshui	6426	18.7		2007/2009
Sayano-Shushenskaya		Yenisei	6400	26.8	621	1989, 2014
Krasnoyarsk		Yenisei	6000	15	2000	1967/1972

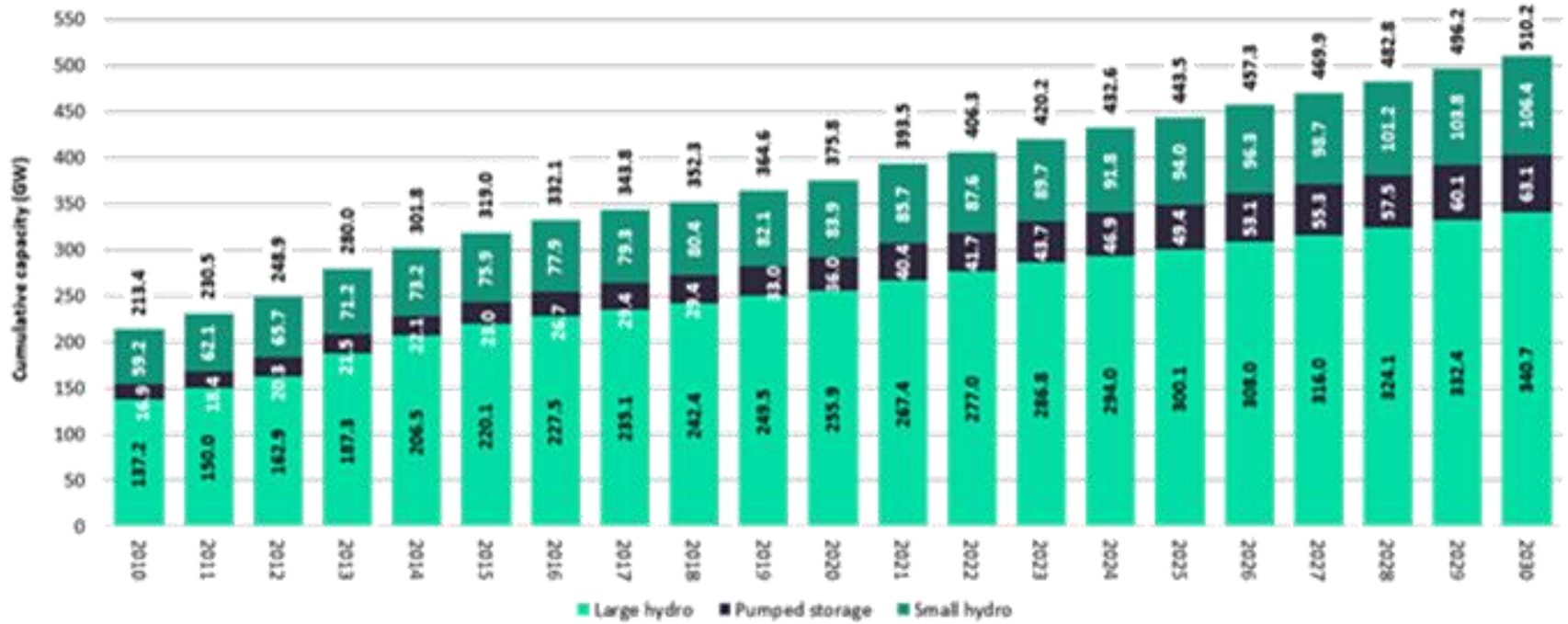
# Share of primary energy from hydroelectric power, 2019



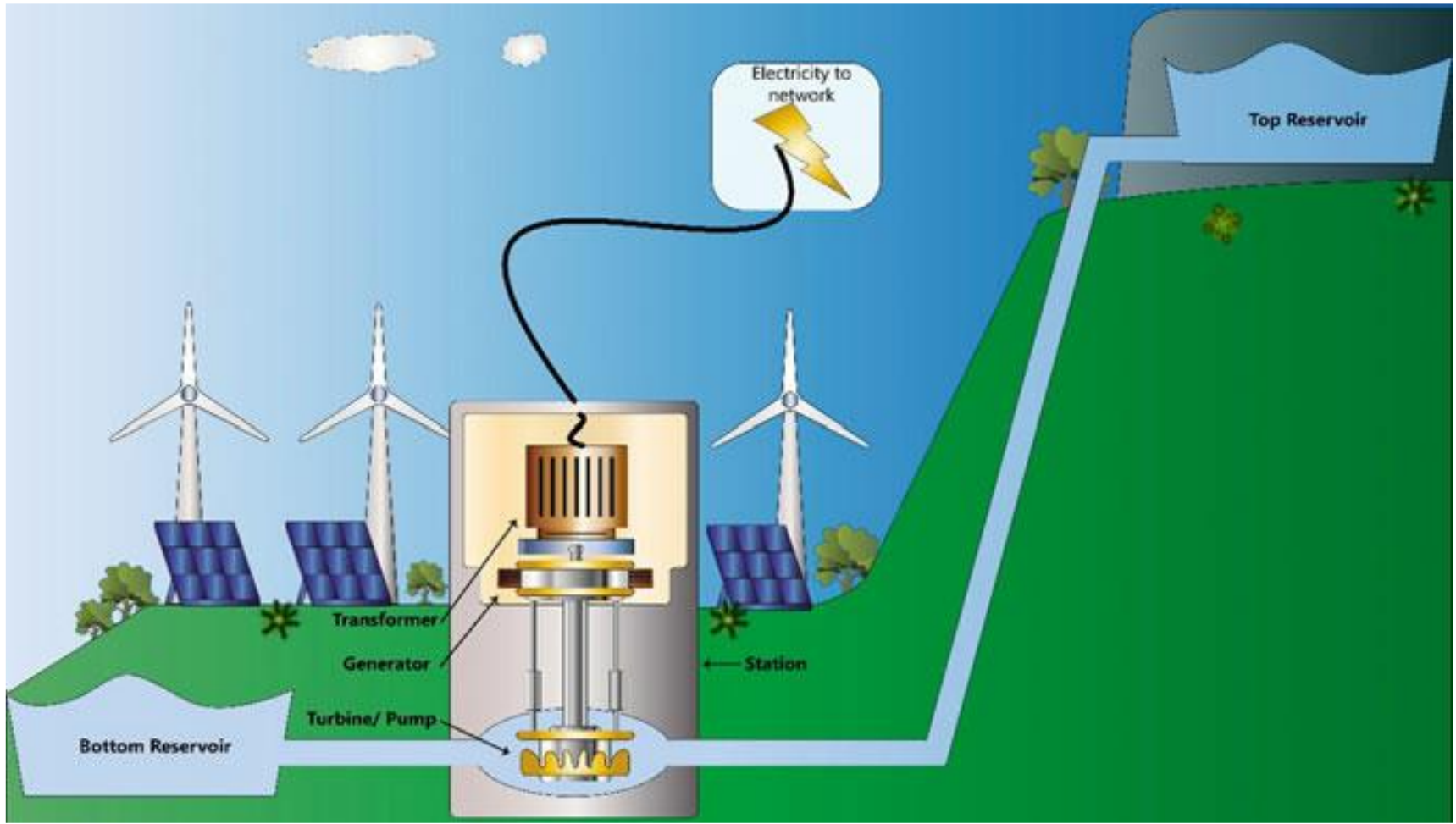
Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy (2020)

Note: Primary energy is calculated using the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies energy production from fossil fuels.

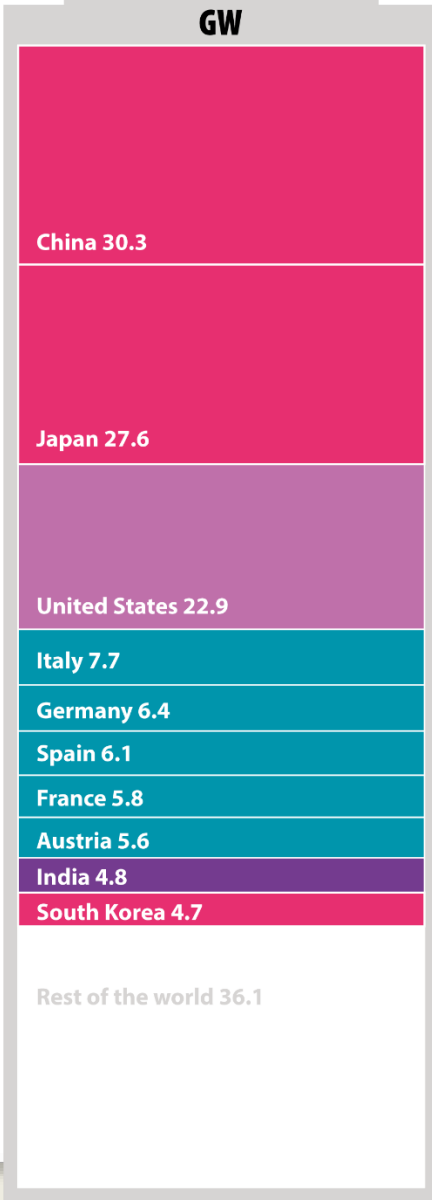
# China







**158**  
GW



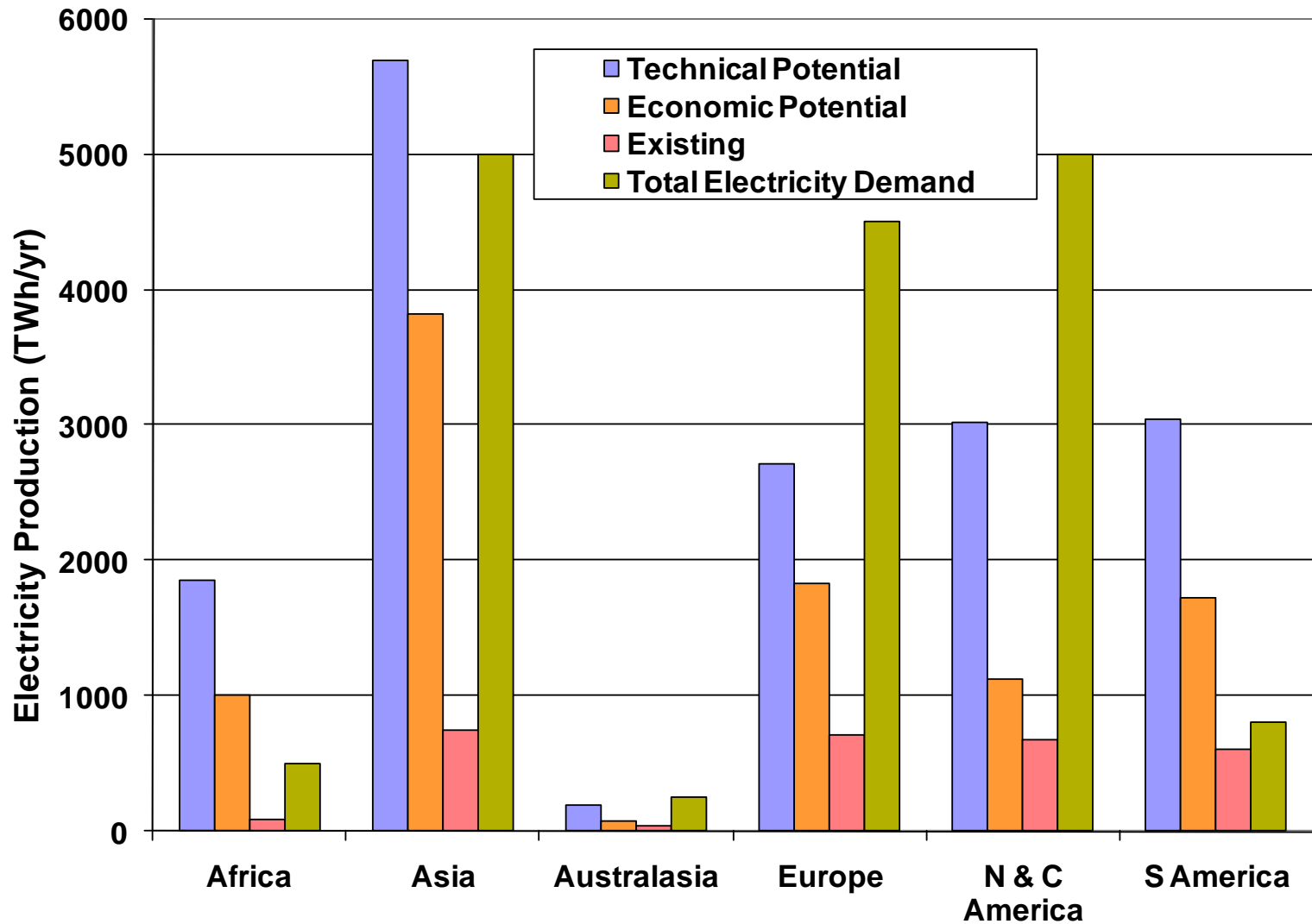
## Global pumped storage installed capacity

## CAPACIDADE INSTALADA

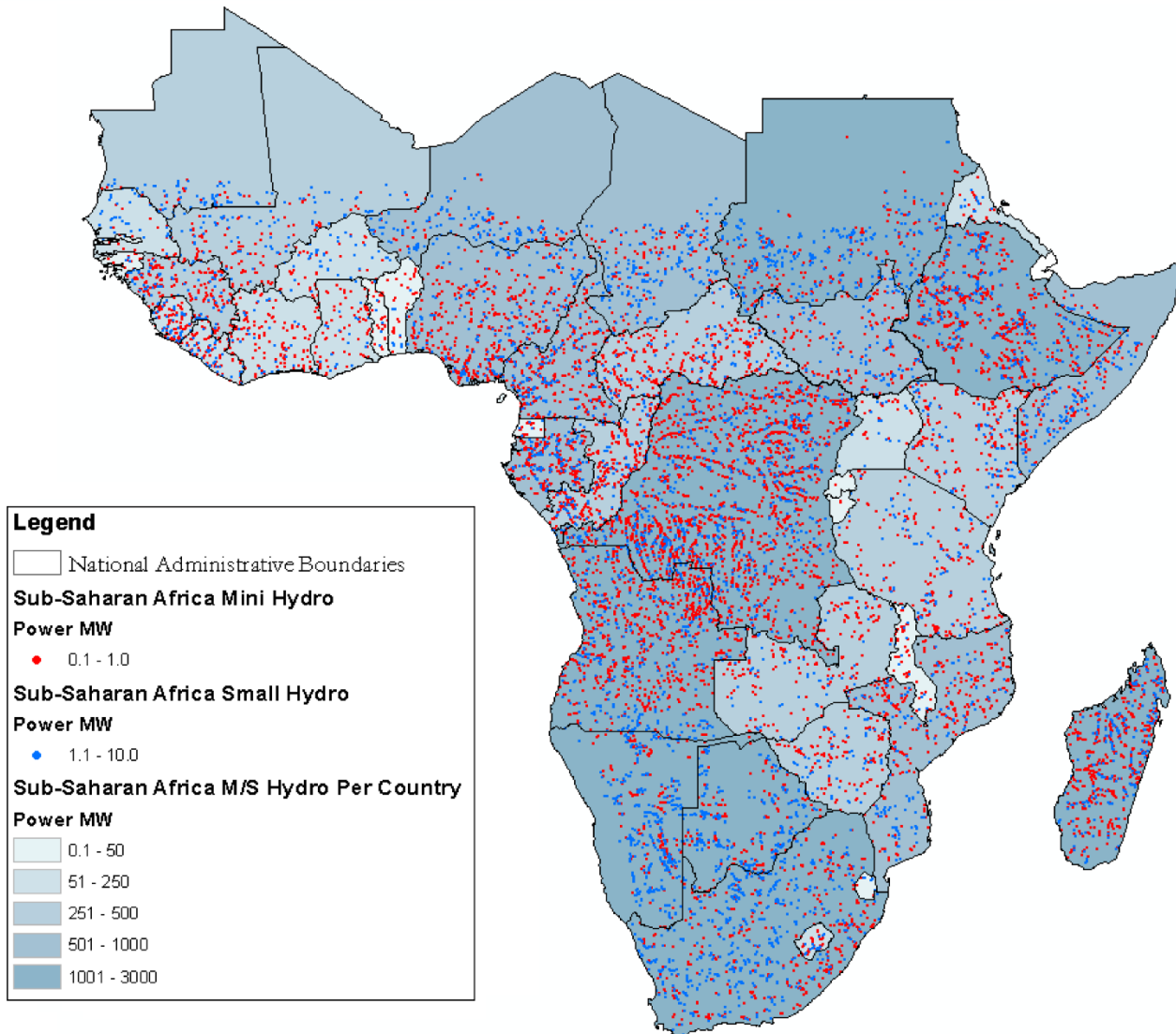
Pequena hídrica (<10MW)

PAÍS	< 10 MW		Porcentagem do total	
	GW	TWh/yr	Potência	Energia
China	9.5		5%	
Japão	3.48		13%	
EUA	2.84	10.7	4%	4%
Itália	2.41	7.6	14%	21%
França	2.02	5.8	8%	10%
Espanha	1.79	4.7	10%	20%
Brazil	1.43	6.7	2%	2%
Austria	0.99	4	8%	10%
Suécia	0.99	3.8	6%	5%
Répubblica Checa	0.28	1.1	28%	45%
Peru	0.23	1	7%	6%
Europa	12.5		10%	
América Norte	5.1			

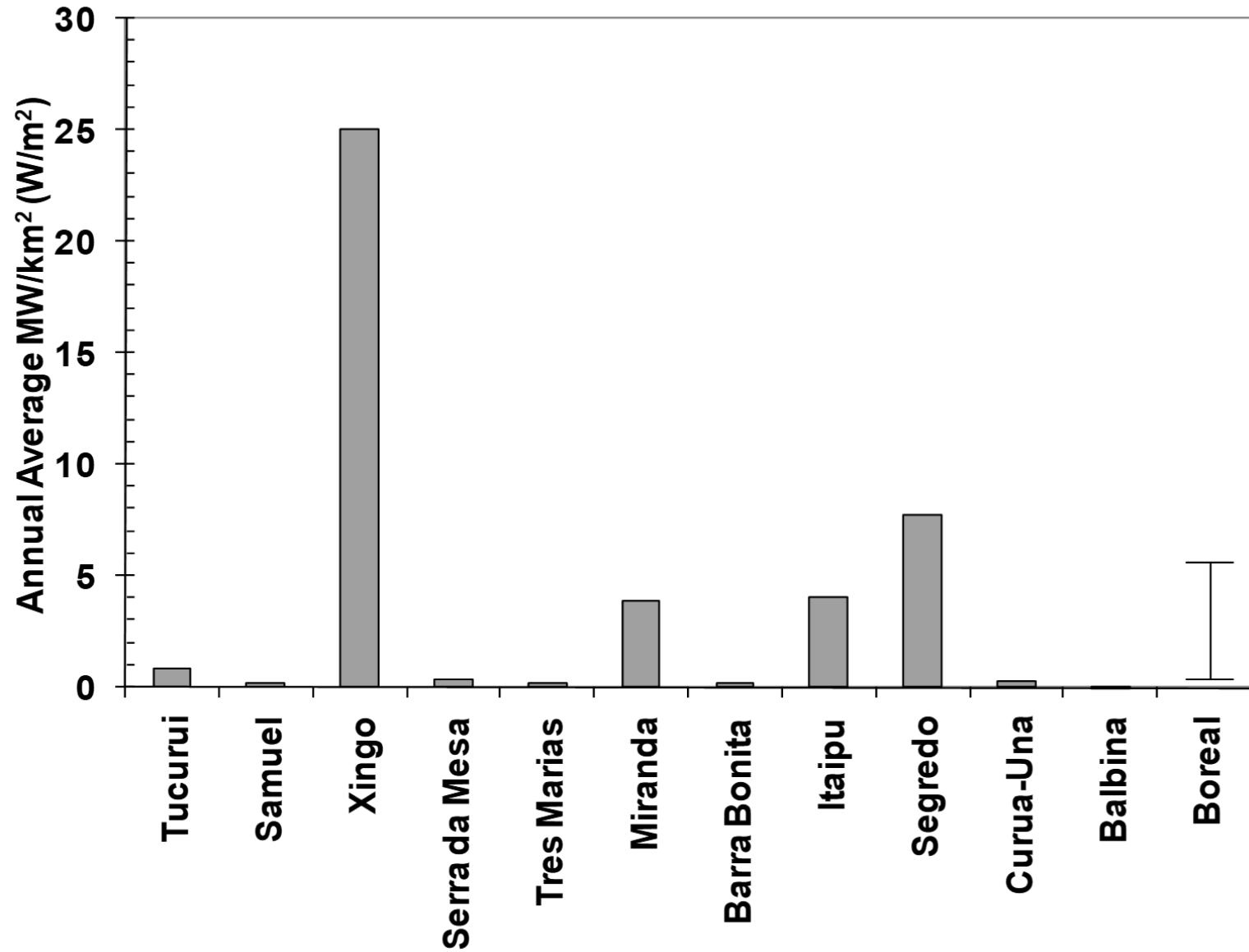
# POTENCIAL HIDROELÉCTRICO



# O potencial das mini-hídricas para a eletrificação remota



# DENSIDADE DE POTÊNCIA



## **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

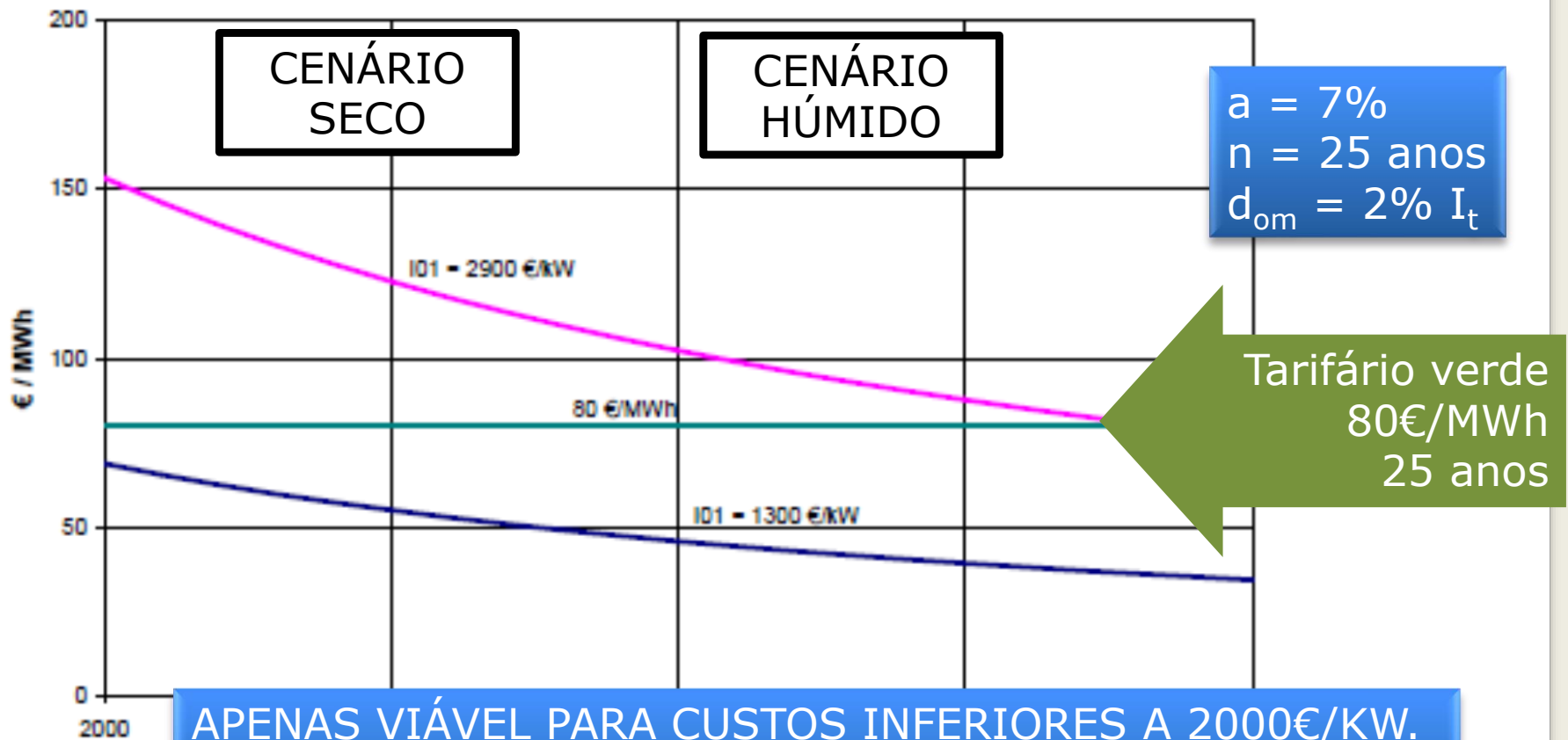
Energy Scientific & Technological Indicators and References (ESTIR), Area: Electricity Generation, Sector: Hydropower (incl. small), Community Research & Development Information Service (CORDIS), 2002.



# 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)

# IMPACTOS NEGATIVOS

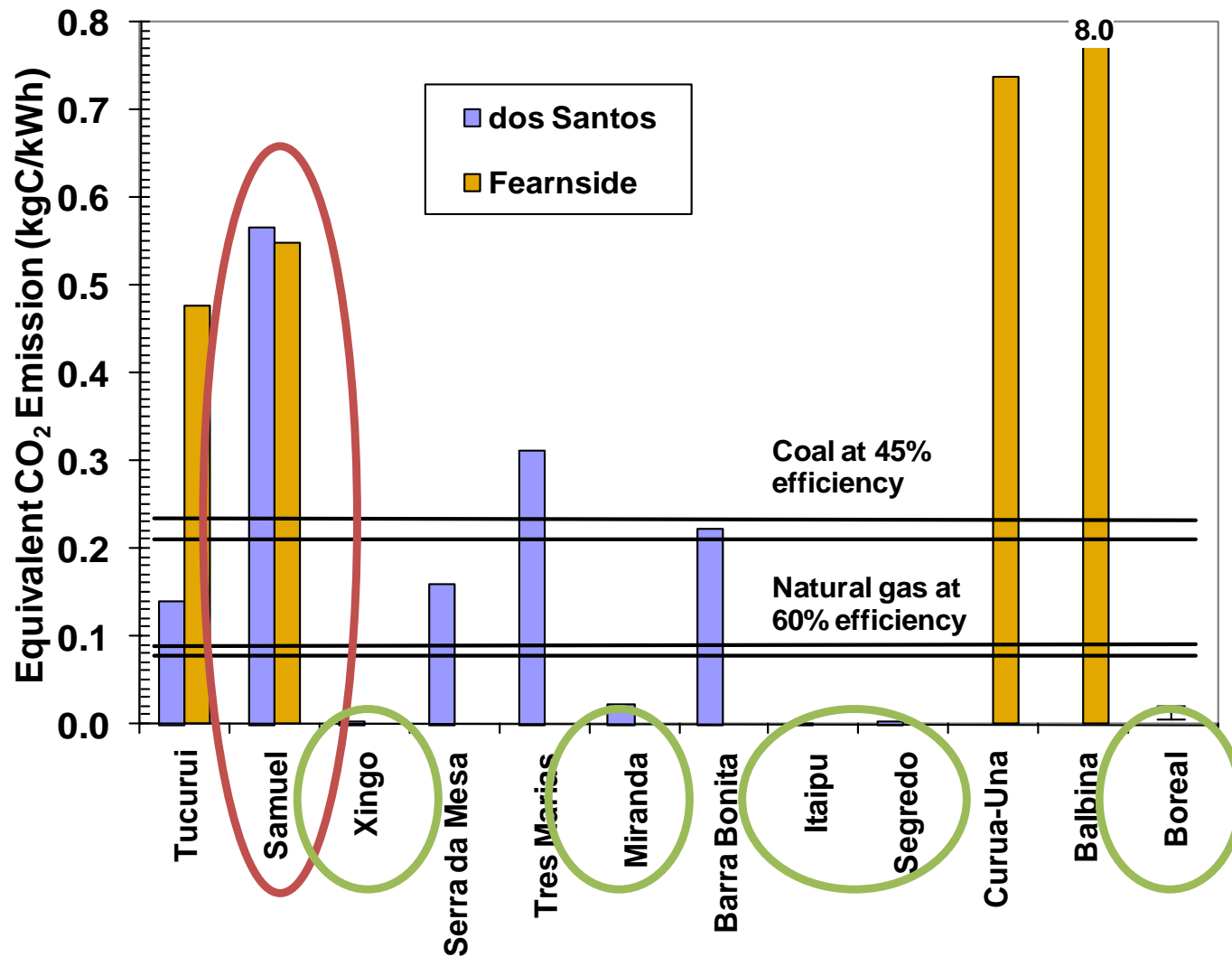
## Impactos ambientais

- 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



# EMISSÕES

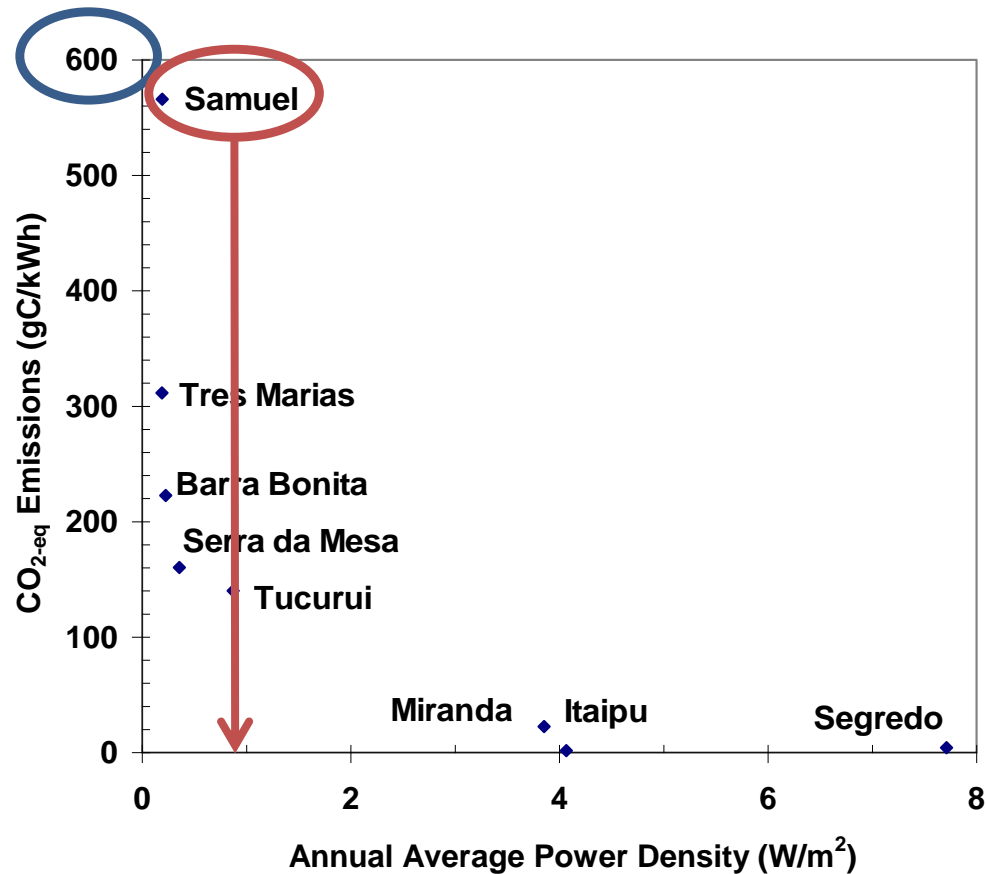
## Emissões GHG barragens Brasil





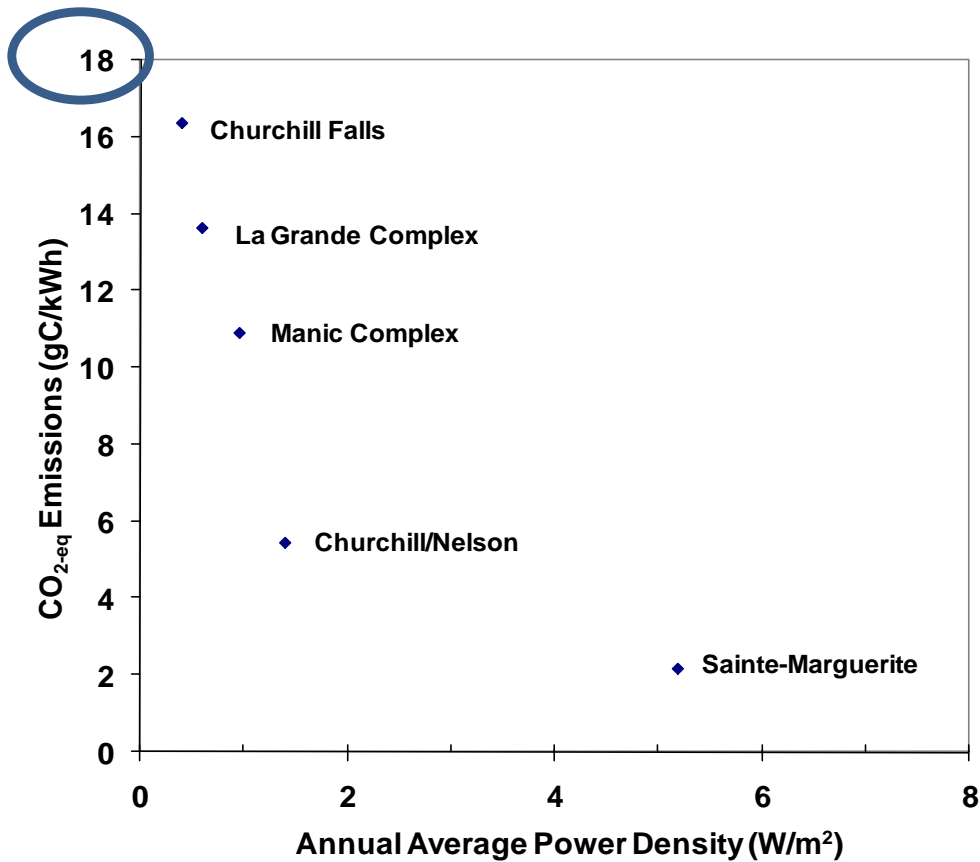
# EMISSÕES

Emissões GHG barragens Brasil (excepto *Boreal*)



# EMISSÕES

## Emissões GHG barragens Quebec



# PORTUGAL

## Grande hídrica

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

Bacia hidrográfica	Afluências anuais actuais (hm <sup>3</sup> )	Capacidade útil das albufeiras (hm <sup>3</sup> )	Capacidade útil das albufeiras em % das afluências	Potência hidroeléctrica (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
<b>Total</b>	<b>47 800</b>	<b>8 862</b>	<b>19%</b>	<b>4 600</b>

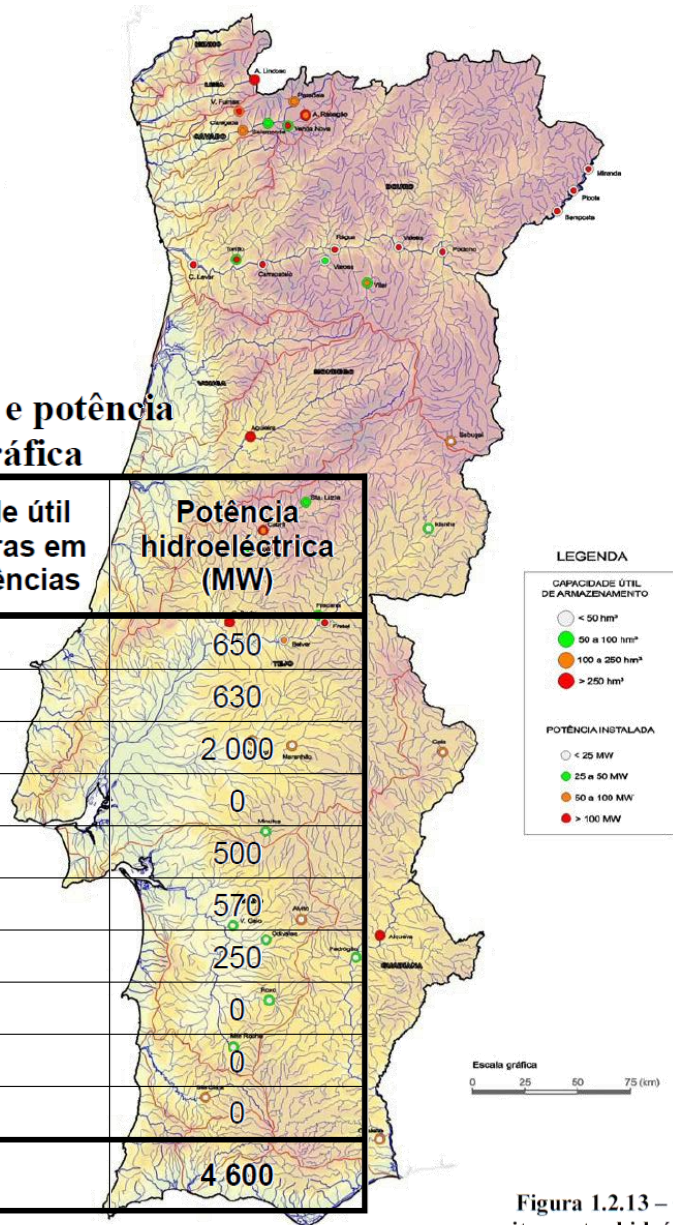


Figura 1.2.13 – Grandes aproveitamentos hidráulicos existentes

# PORTUGAL

## (Nova) grande hídrica

### Principais características dos aproveitamentos seleccionados para o PNBEPH

APROVEITAMENTO	BACIA HIDROGRÁFICA	RIO	TIPO	ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA	CAPACIDADE DA ALBUFEIRA	POTÊNCIA INSTALADA	ENERGIA PRODUZIDA
				(km <sup>2</sup> )	(hm <sup>3</sup> )	(MW)	(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
<b>TOTAL.....</b>					<b>1 266</b>	<b>1 096</b>	<b>1 632</b>

Figura 7.1 – Localização dos aproveitamentos seleccionados para o PNBEPH

### Barragens

### Rios

### Tipos de utilização ⓘ

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

### % de armazenamento

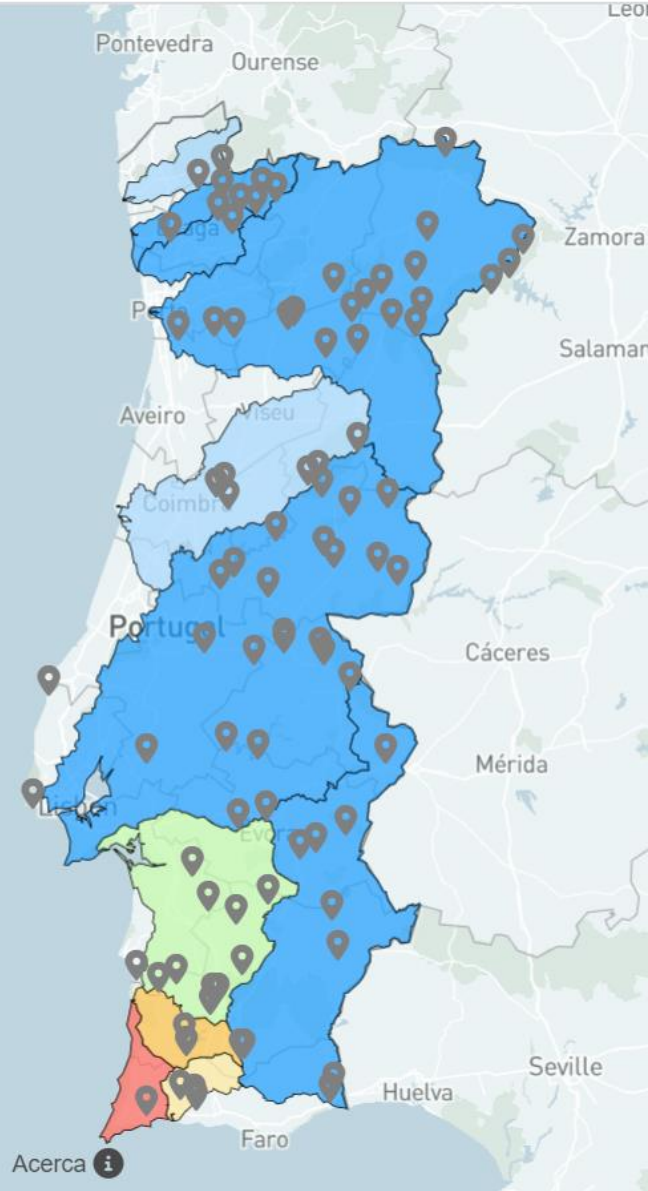
- Bacias Hidrográficas
- Barragens



# BARRAGENS.PT

**% Armazenamento**

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





## Barragens

Pesquisar... 🔍

## Rios

▼

## Tipos de utilização ⓘ

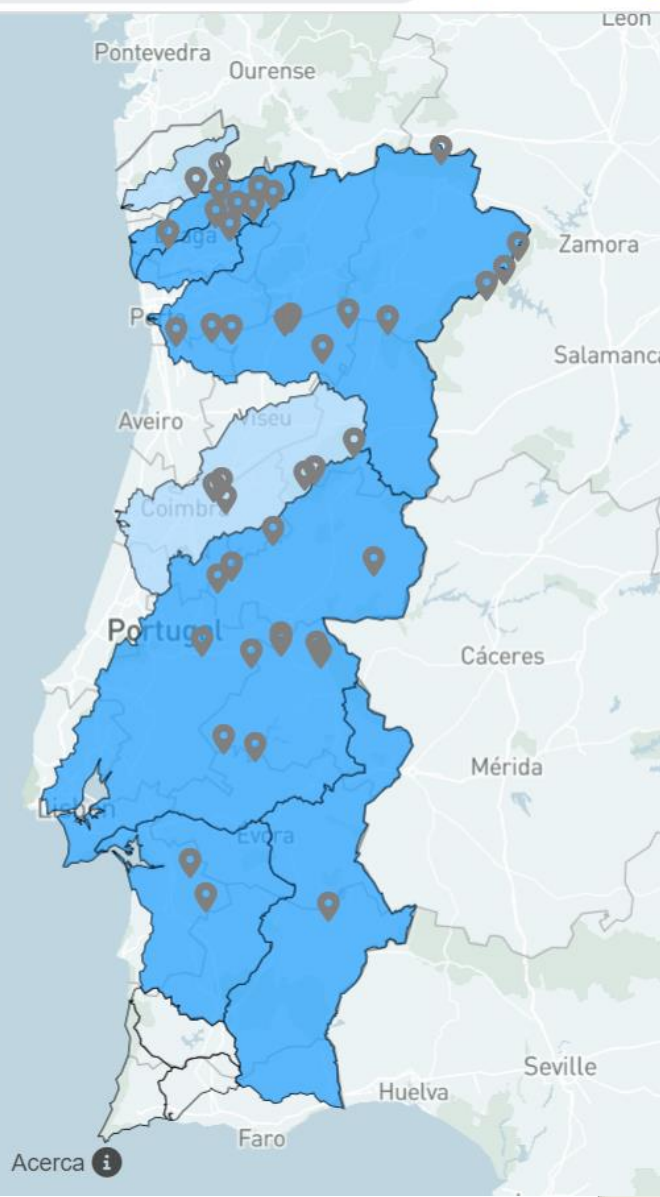
- Energia
- Recreio
- Abastecimento
- Indefinido
- Derivação
- Navegação
- S.A.
- Defesa de Cheias
- Irrigação
- Outros

## % de armazenamento

- Bacias Hidrográficas
- Barragens



# BARRAGENS.PT





# PORTUGAL

## Pequena hídrica

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

