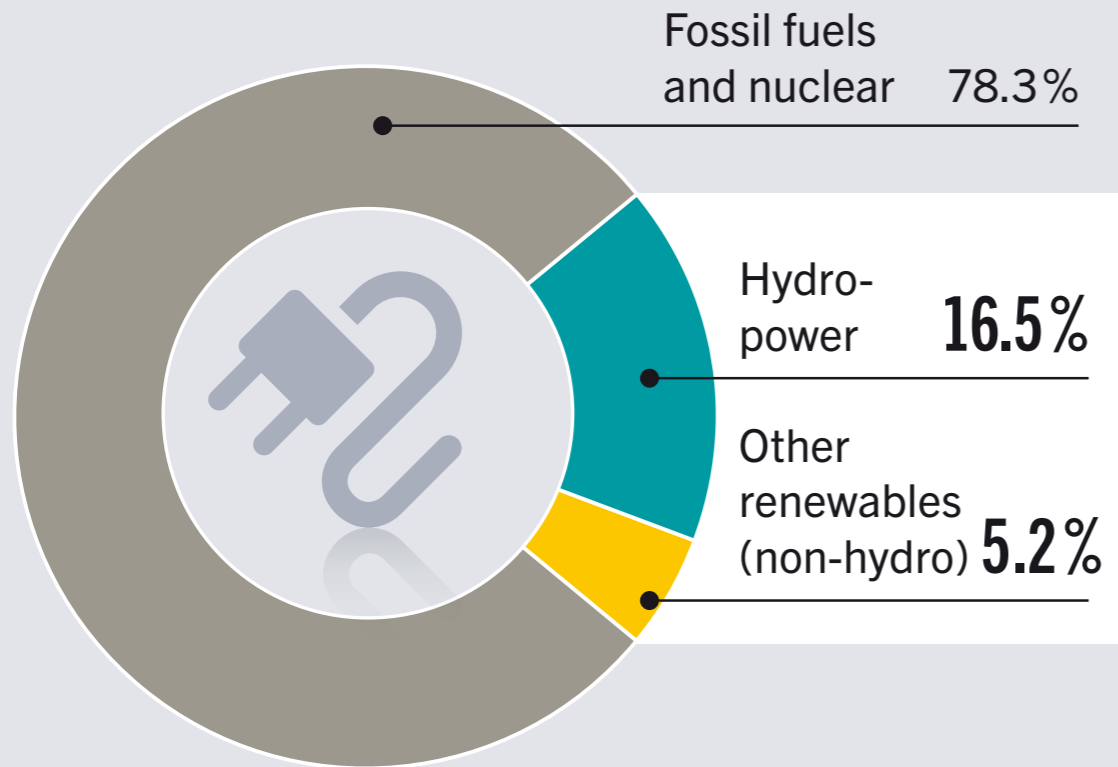
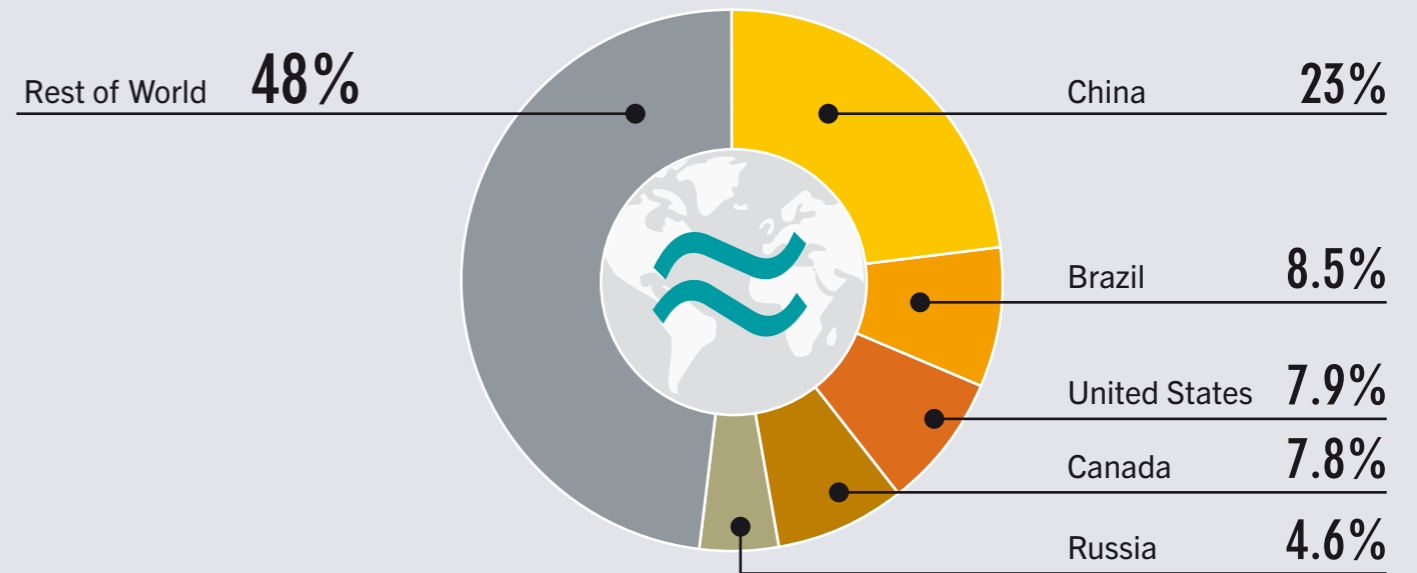




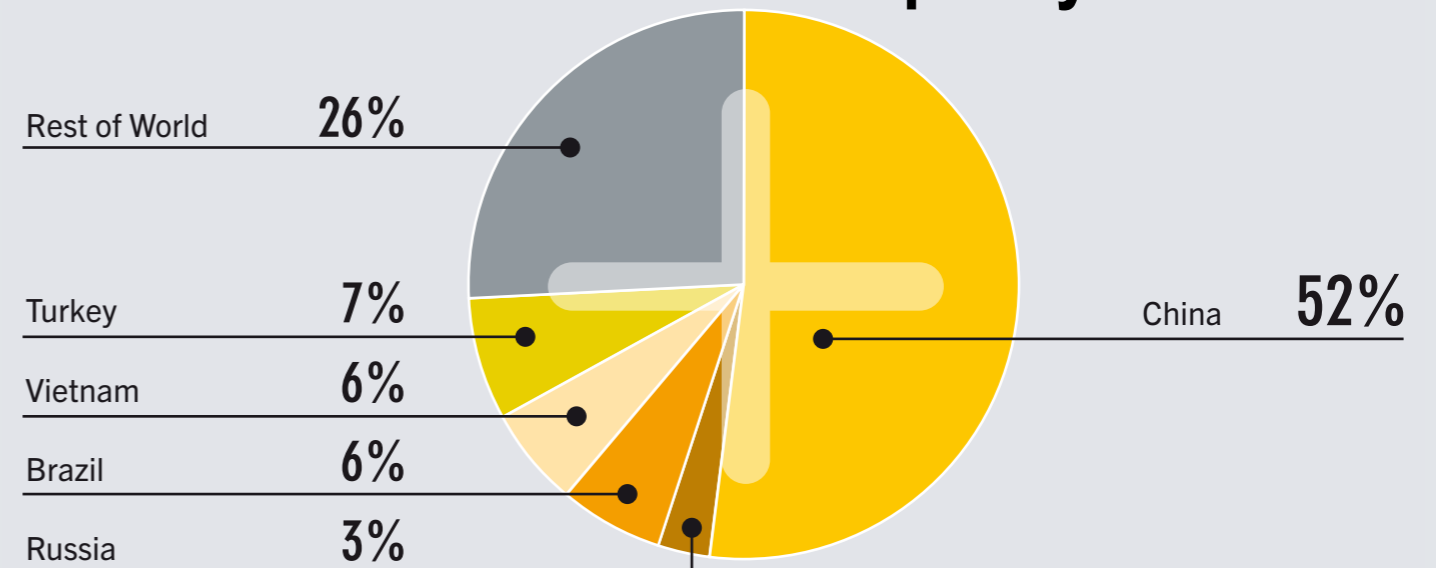
hydropower

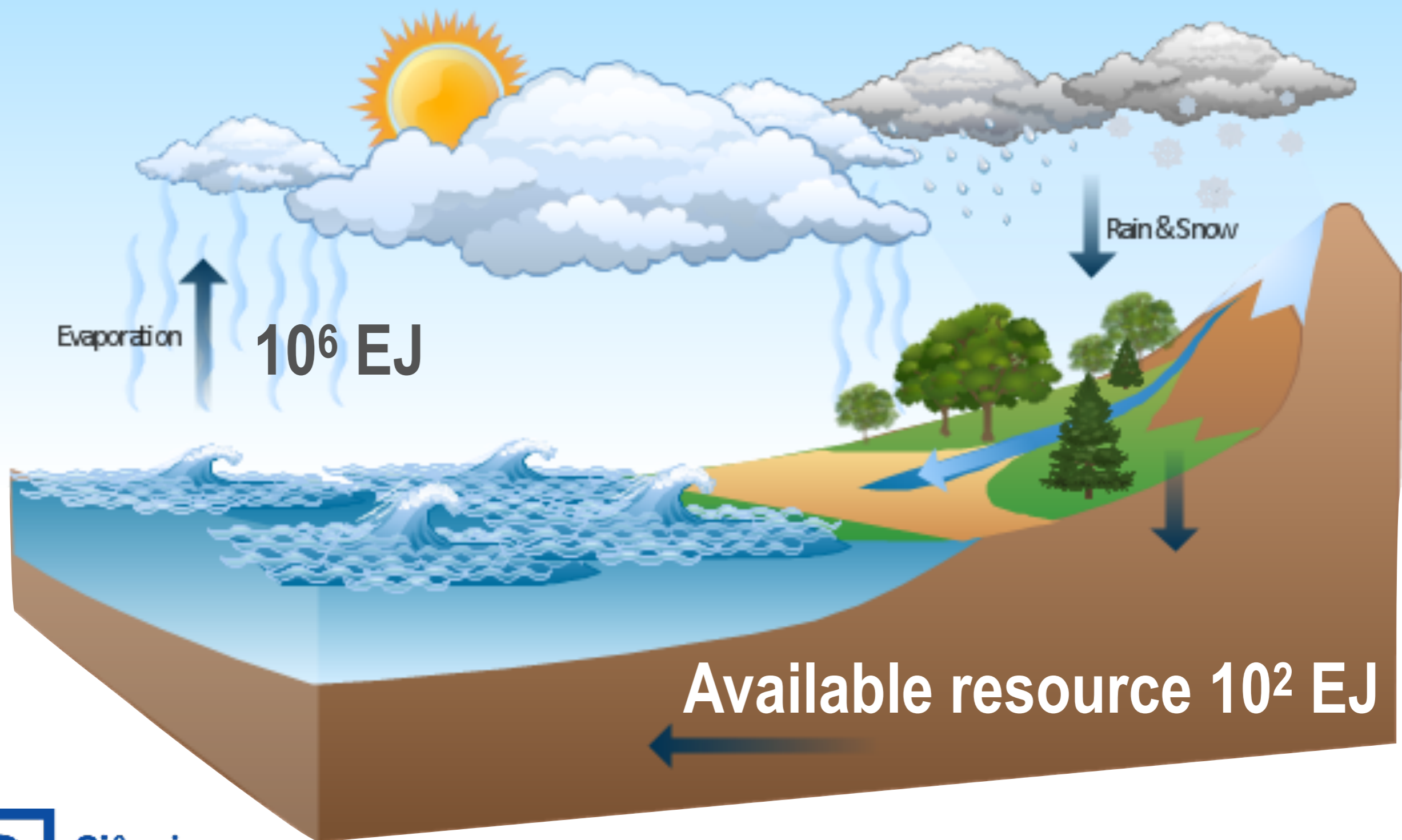


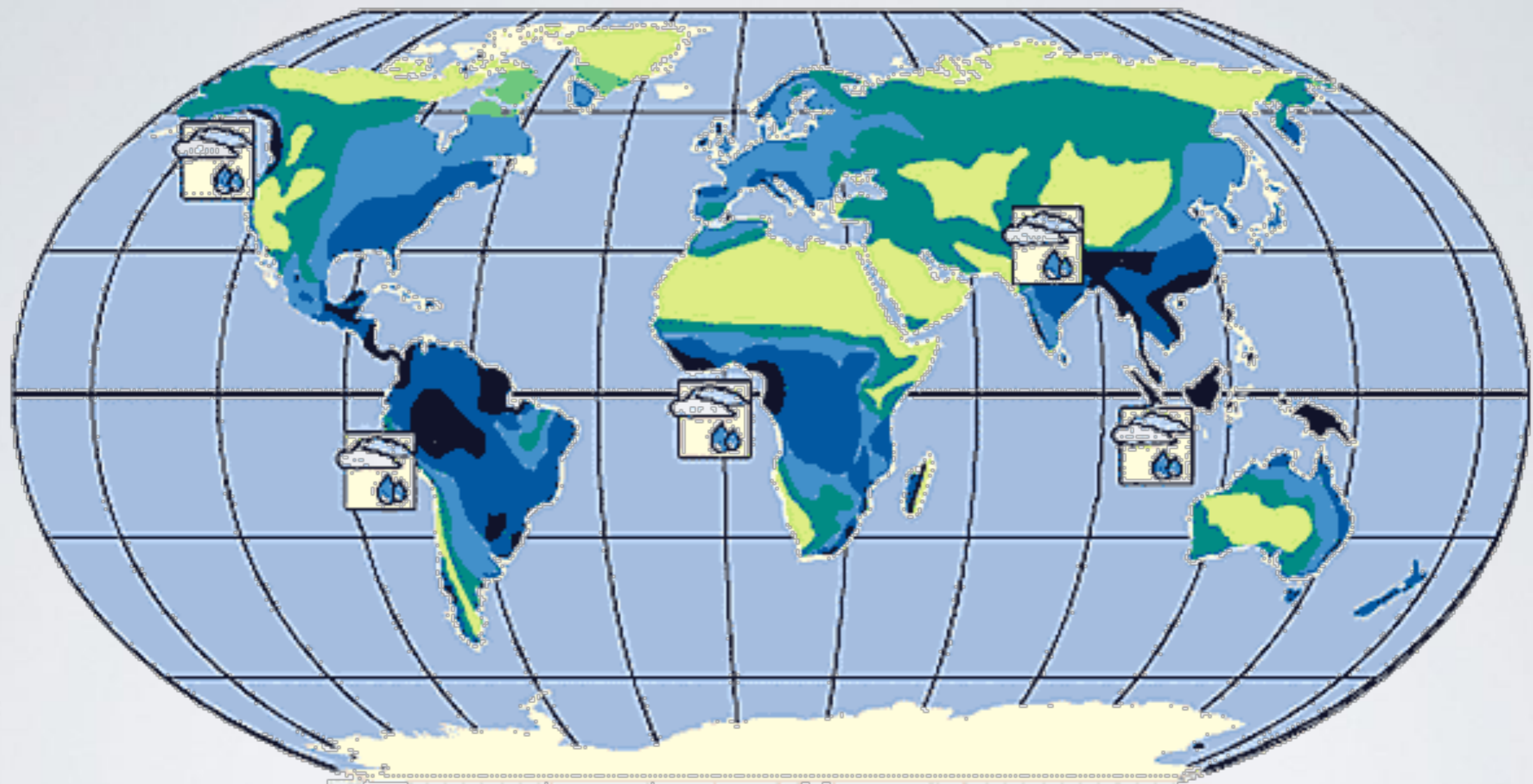
installed capacity



added installed capacity



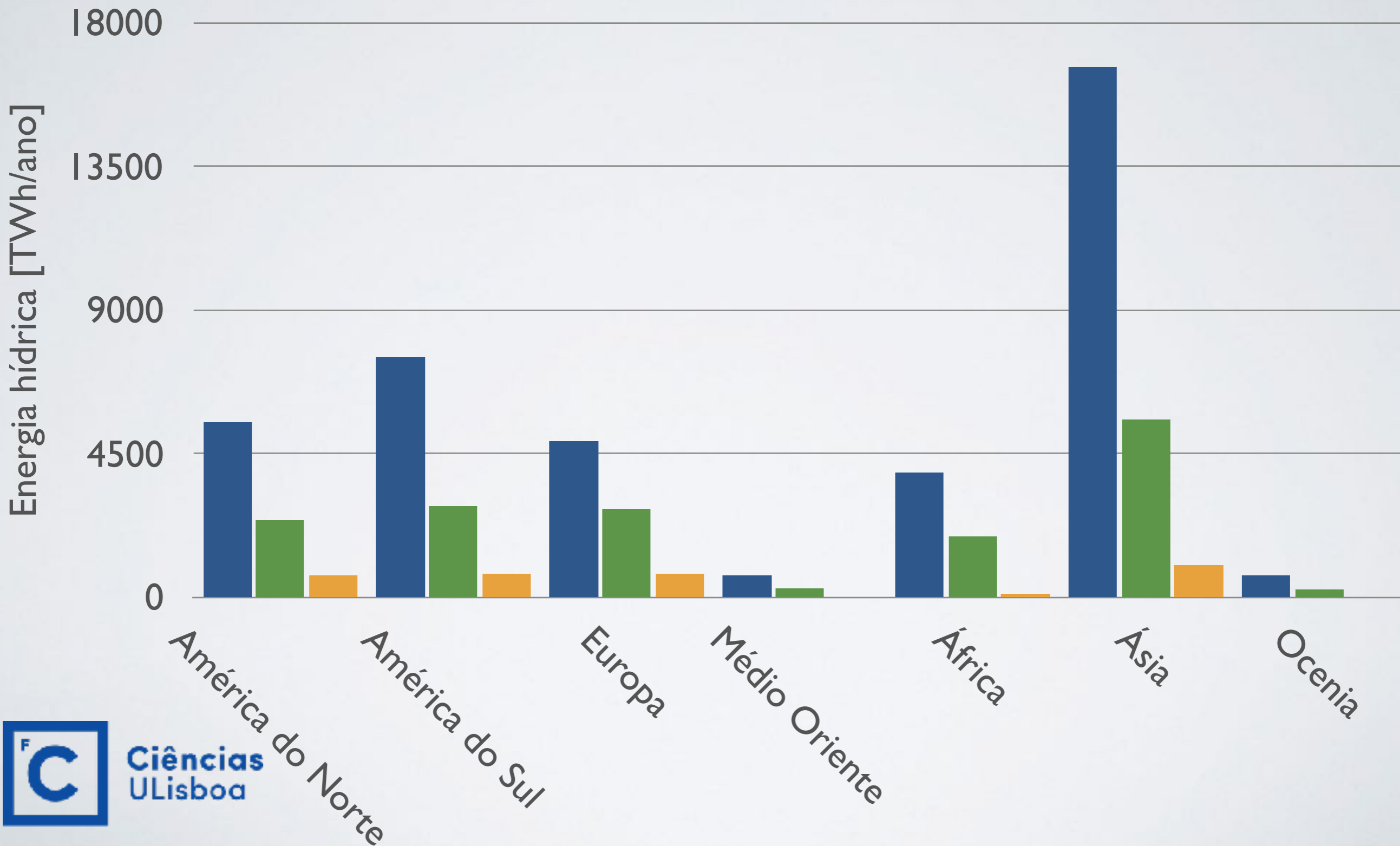




Average Annual precipitation mm. [in.]
■ 3000 [120] ■ 2000 [80] ■ 1000 [40] ■ 500 [20] ■ 250 [10] ■ below 250

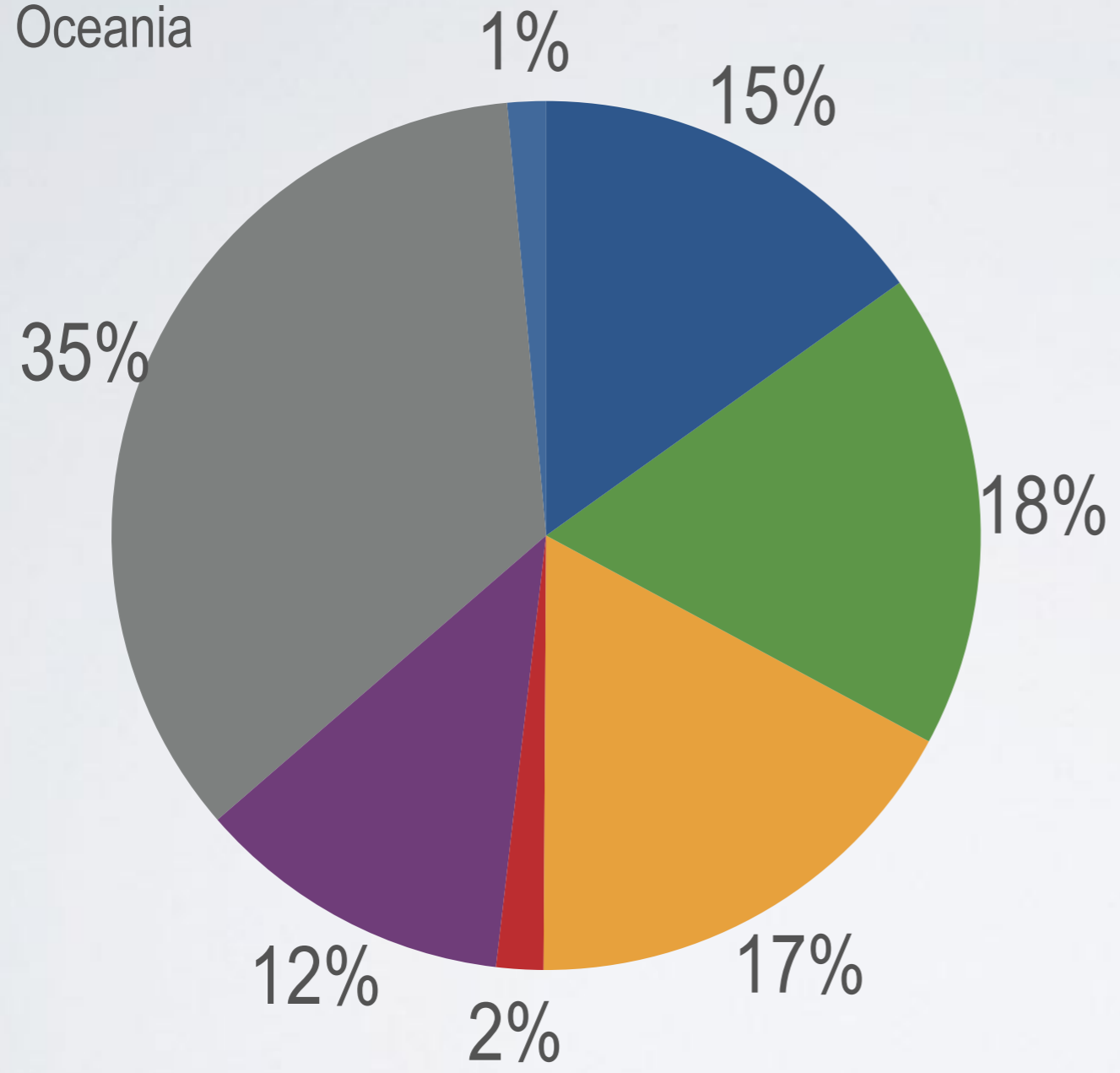
Credit: Earth Forum, Houston Museum of Natural Science

■ Recurso ■ Potencial técnico ■ Produção efetiva

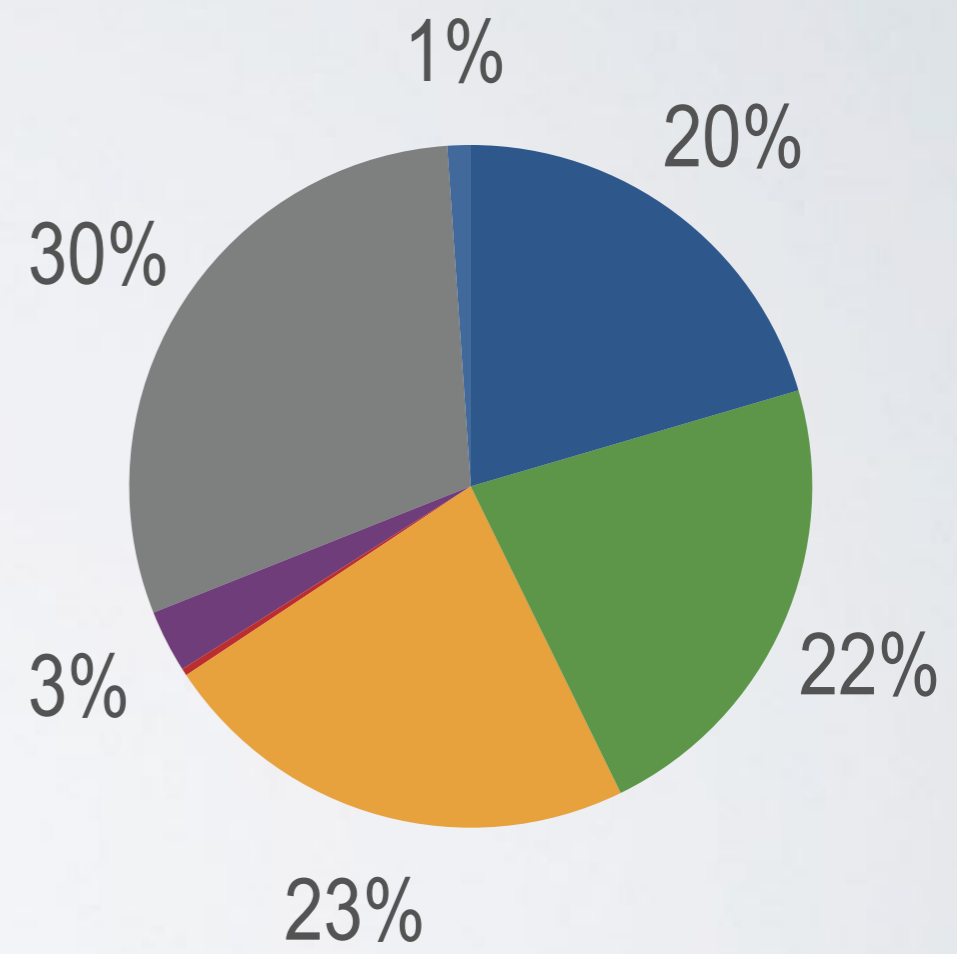


Ciências
ULisboa

- North America
- Middle East
- Oceania
- South America
- Africa
- Europe
- Asia



Technical potential:
16 000 TWh/year



Energy generated:
3 272 TWh/year

	Technical potential [TWh/ano]	Effective production [TWh/ano]	Installed power [GW]	Capacity factor	Share of electricity
China	2500	616	171	41%	17%
Canada	830	399	73	62%	63%
Brasil	1250	391	78	58%	84%
USA	1340	275	77	41%	7%
Russia	1670	176	50	40%	18%
Norway	240	127	30	49%	96%
Portugal	25	7.3 14.9 (2013)	4.9	17% 35% (2013)	15% 32% (2013)

Survey of energy resources, 2010 (data from 2008)

large and small-scale hydro

hydro



run-of-river

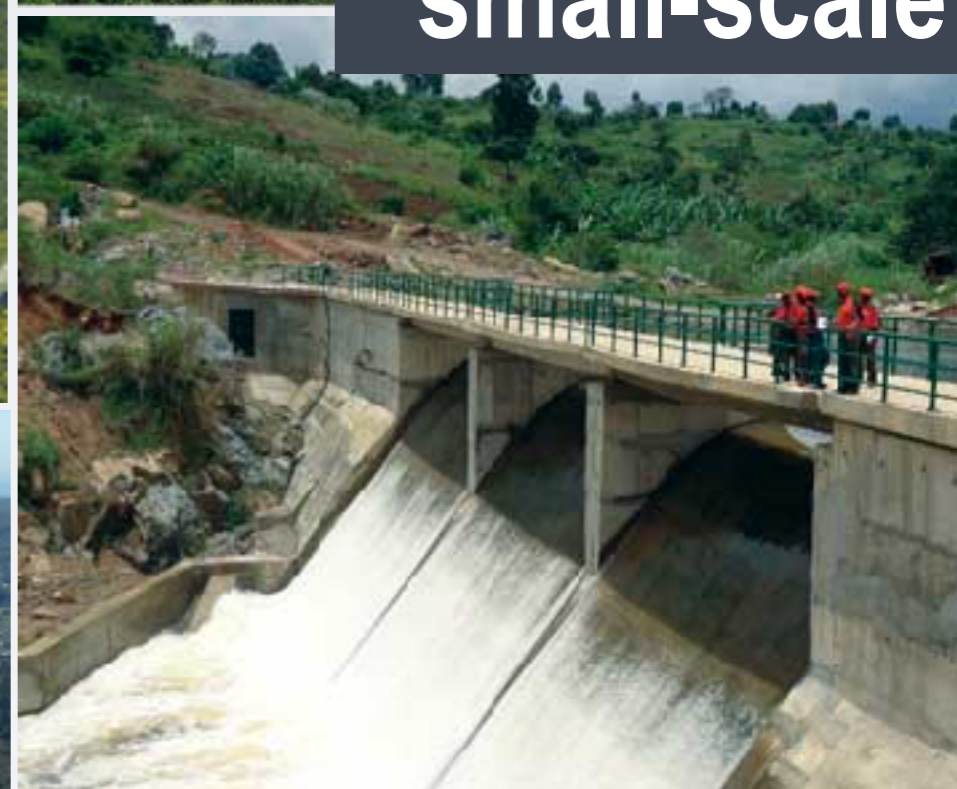
large-scale



small-scale

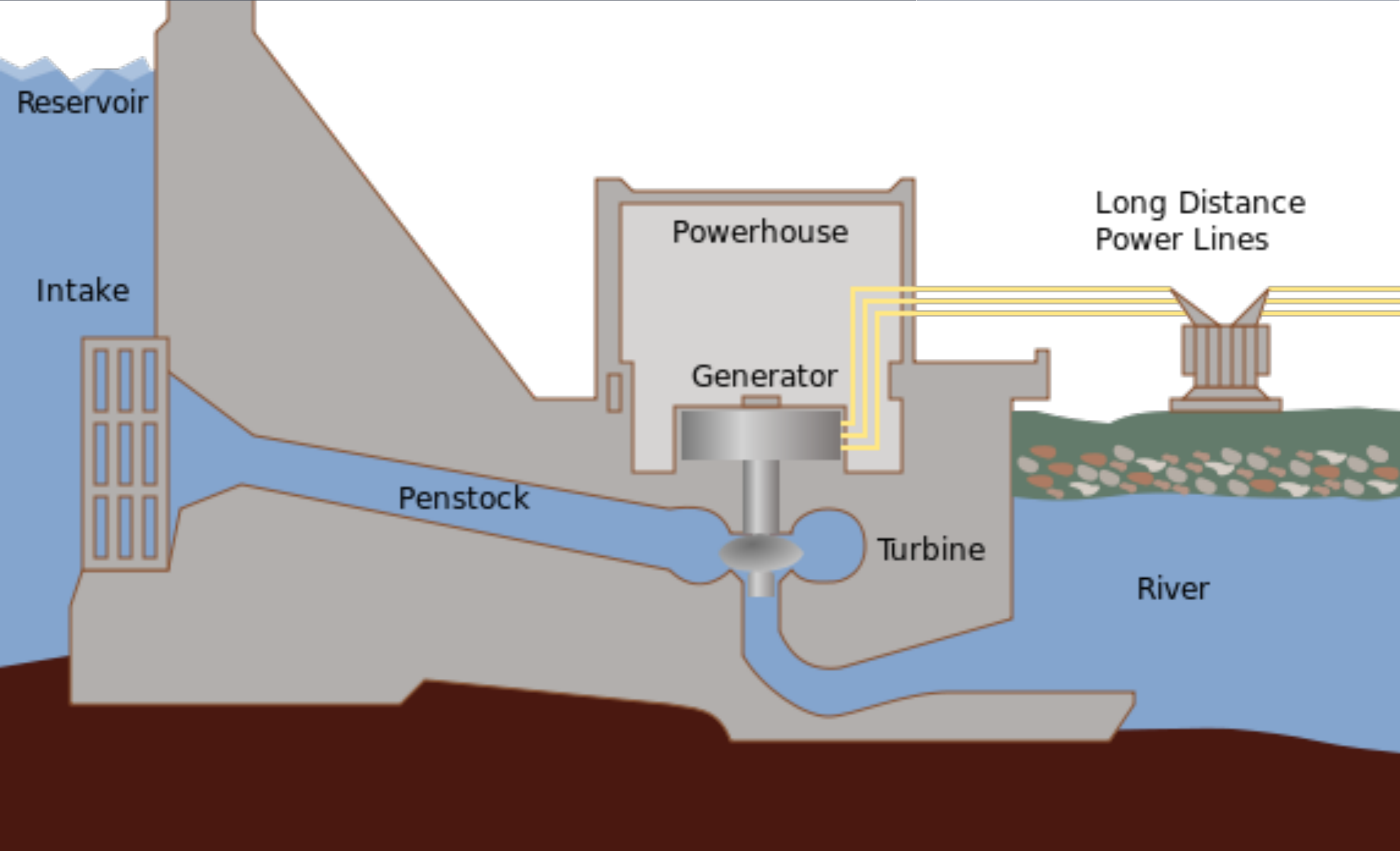


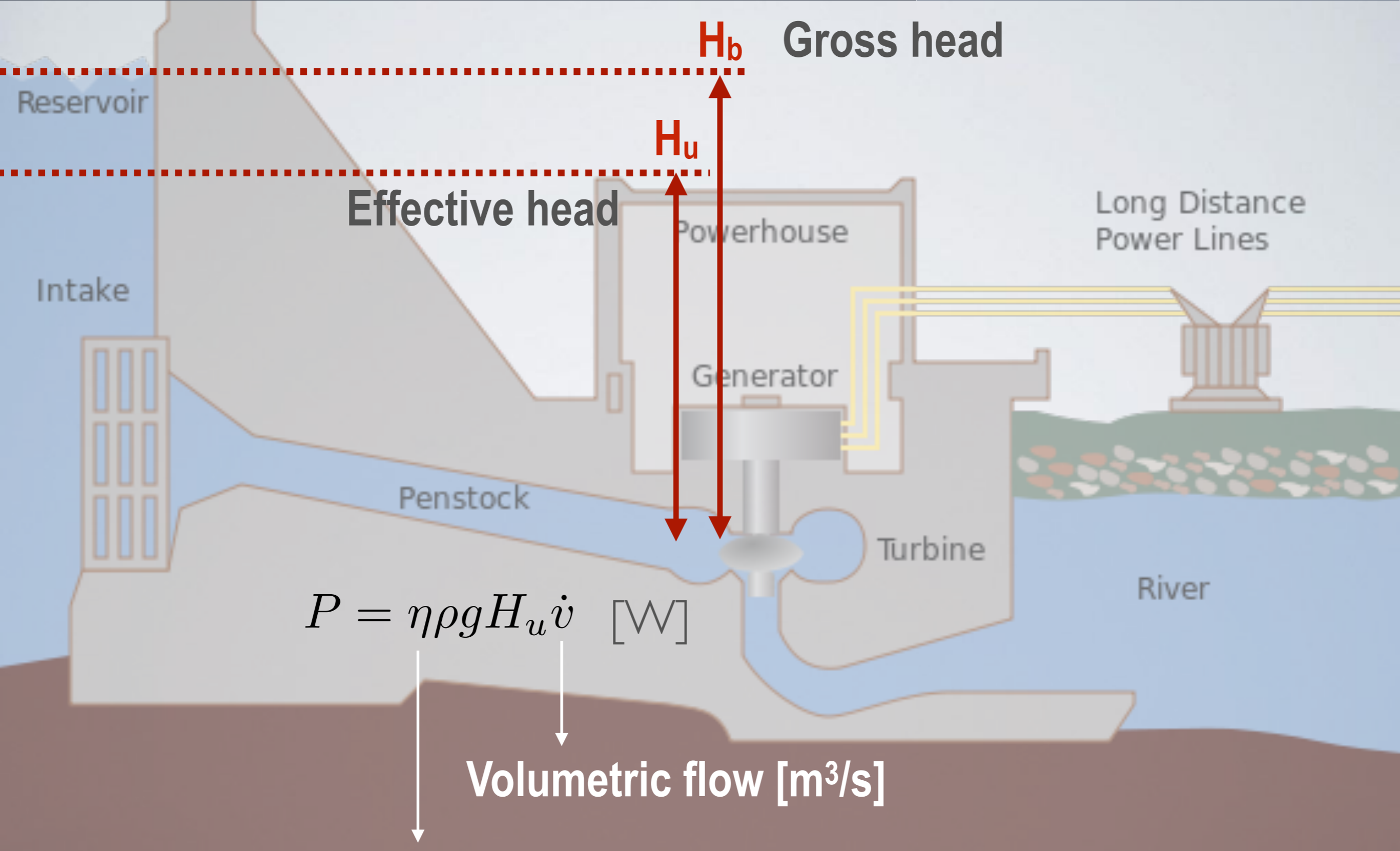
reservoir

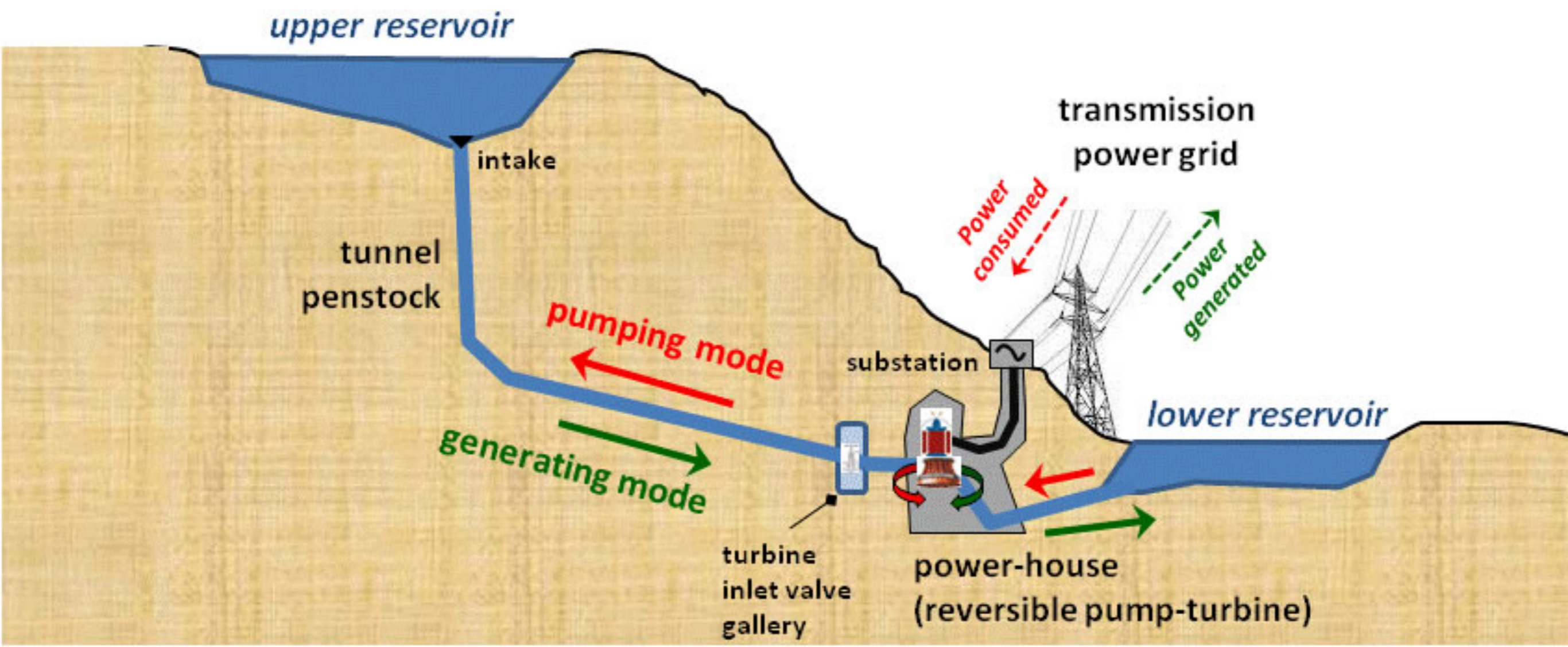


lower than 10 MW

	Advantages	Disadvantages
Reservoir	Storage Reversitibility	High environmental impact
Run-of-river	Low environmental impact	Less predictability Low storage (<100 hours) High production with precipitation







→ Direction of water flows when generating

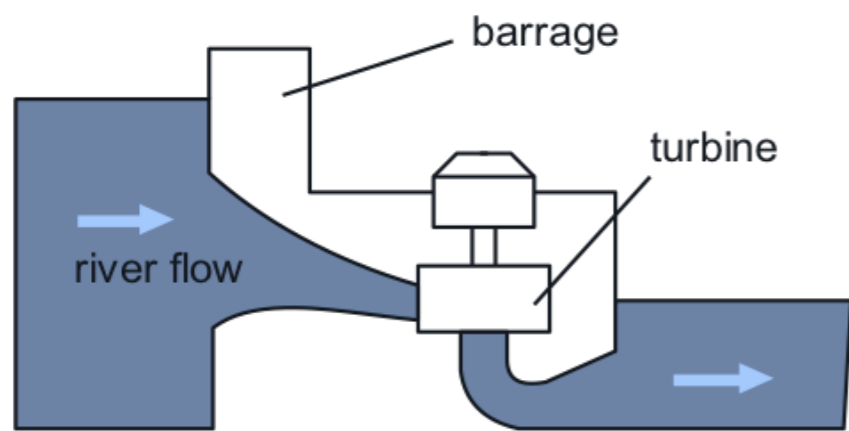
← Direction of water flows when pumping

↻ Rotation when generating

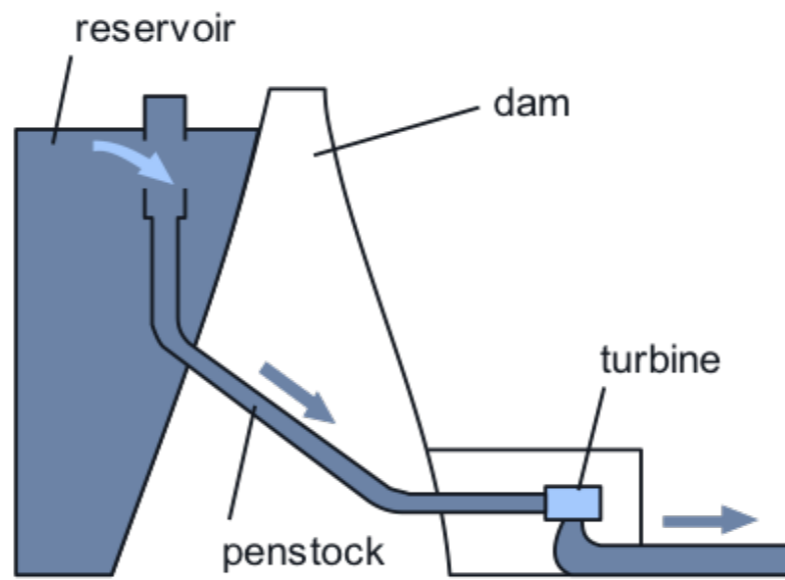
↻ Rotation when pumping

→ Direction of power flows when generating

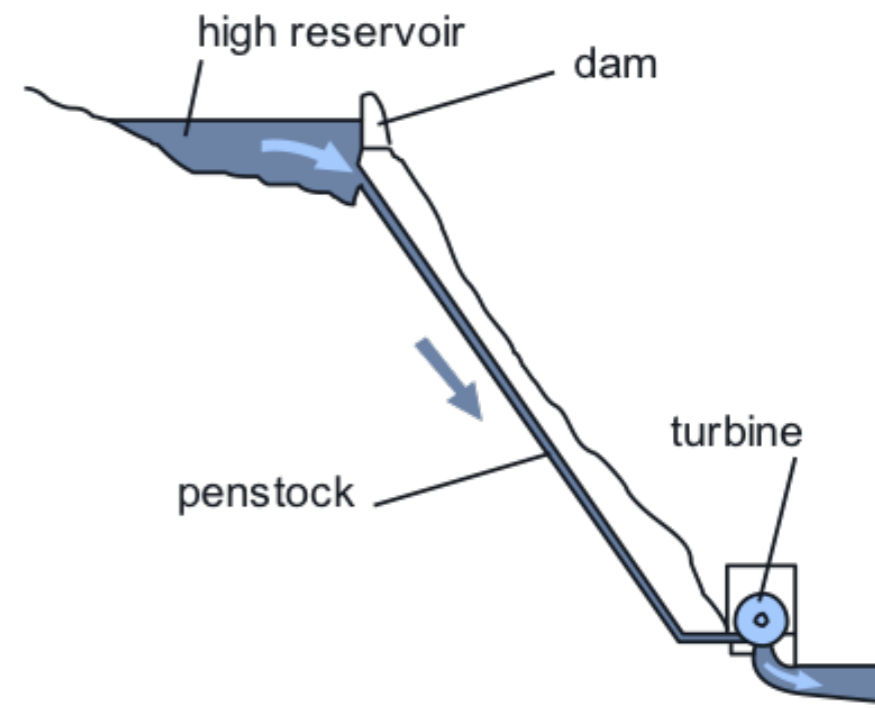
← Direction of power flows when pumping



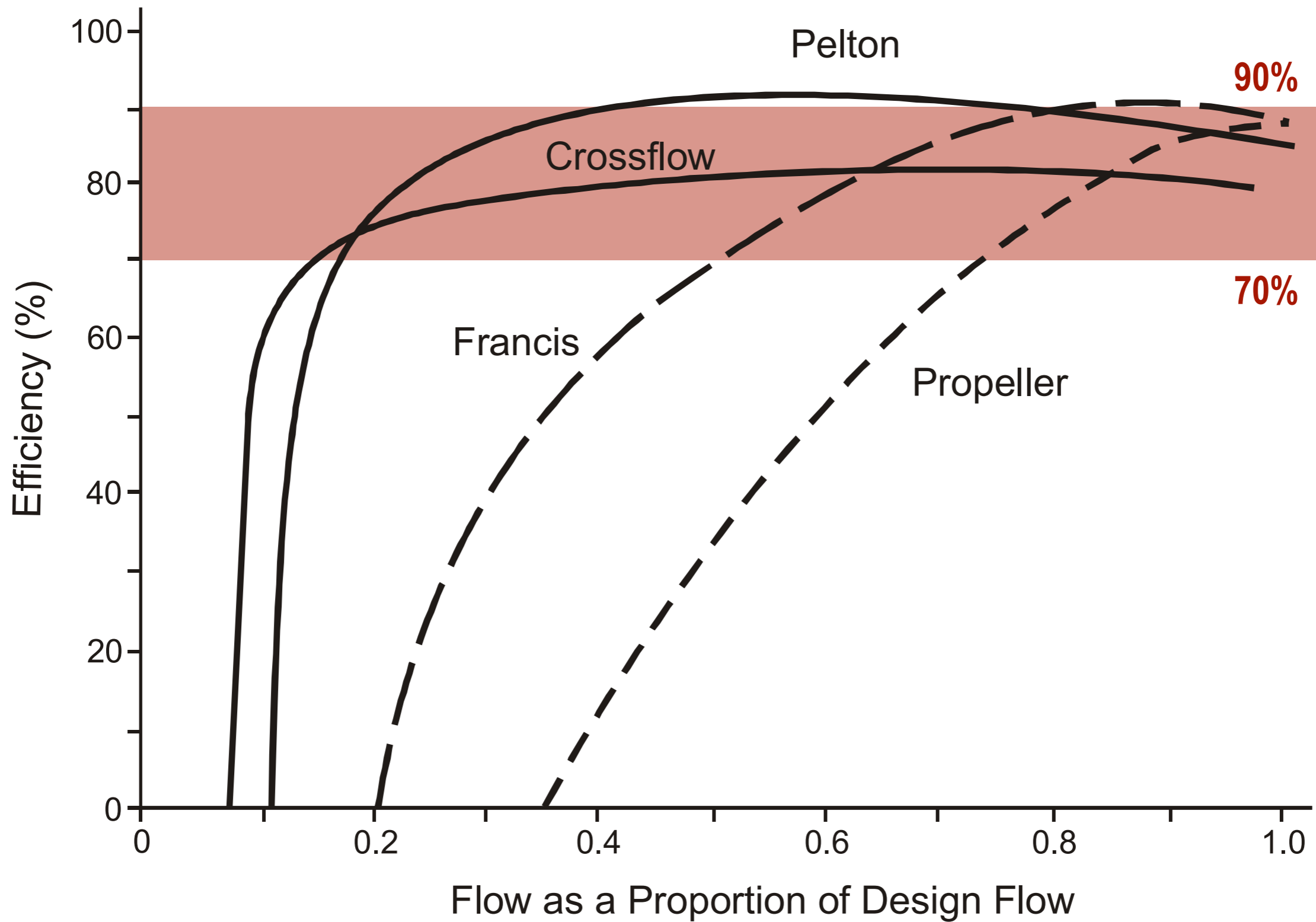
Low head
2 - 20 m

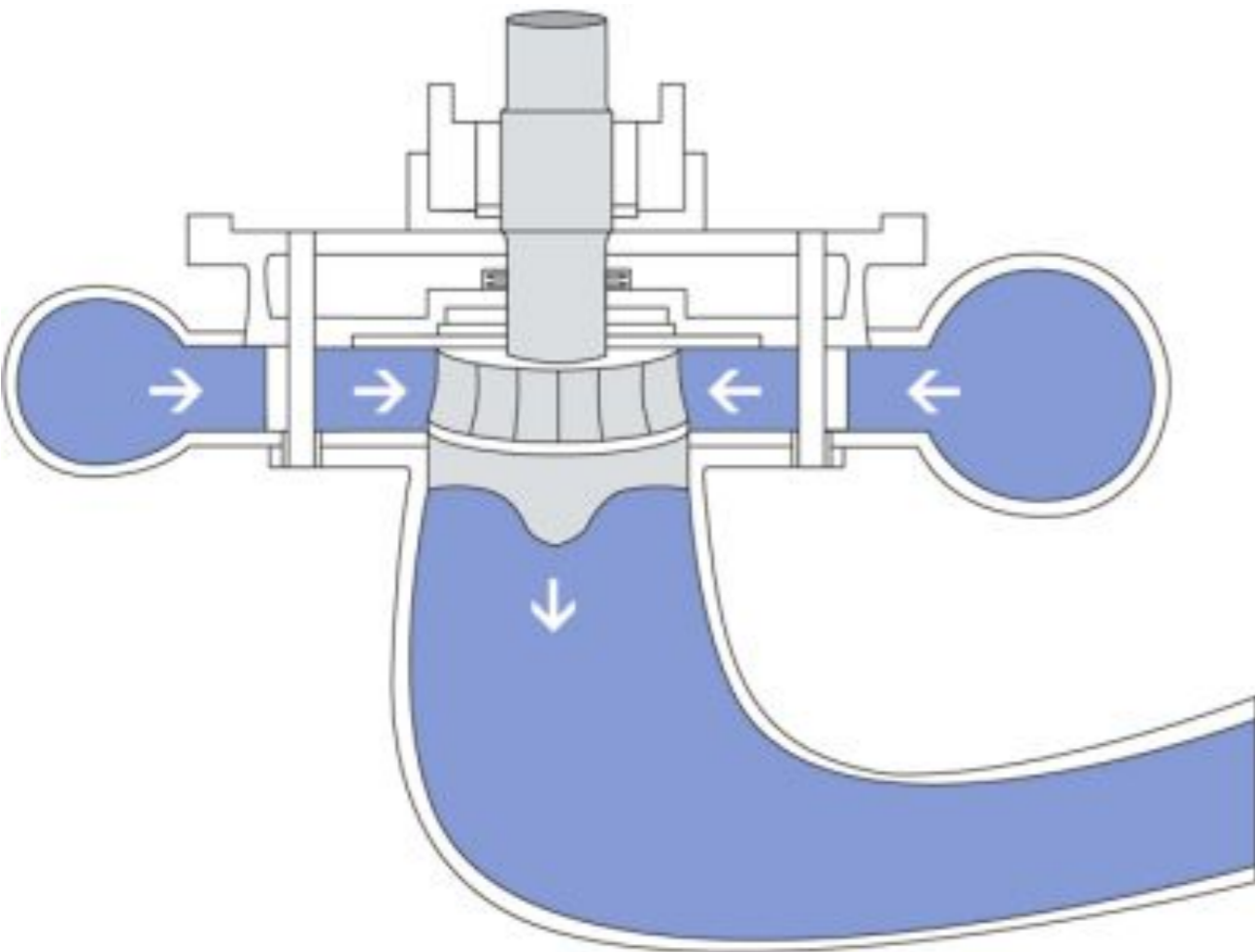


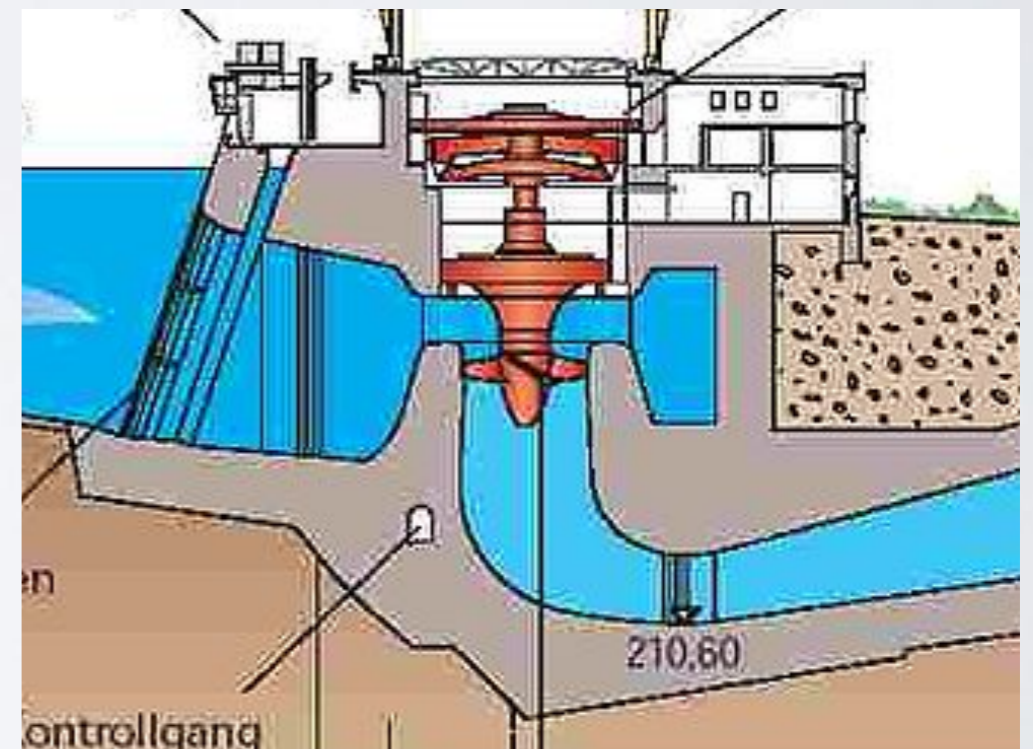
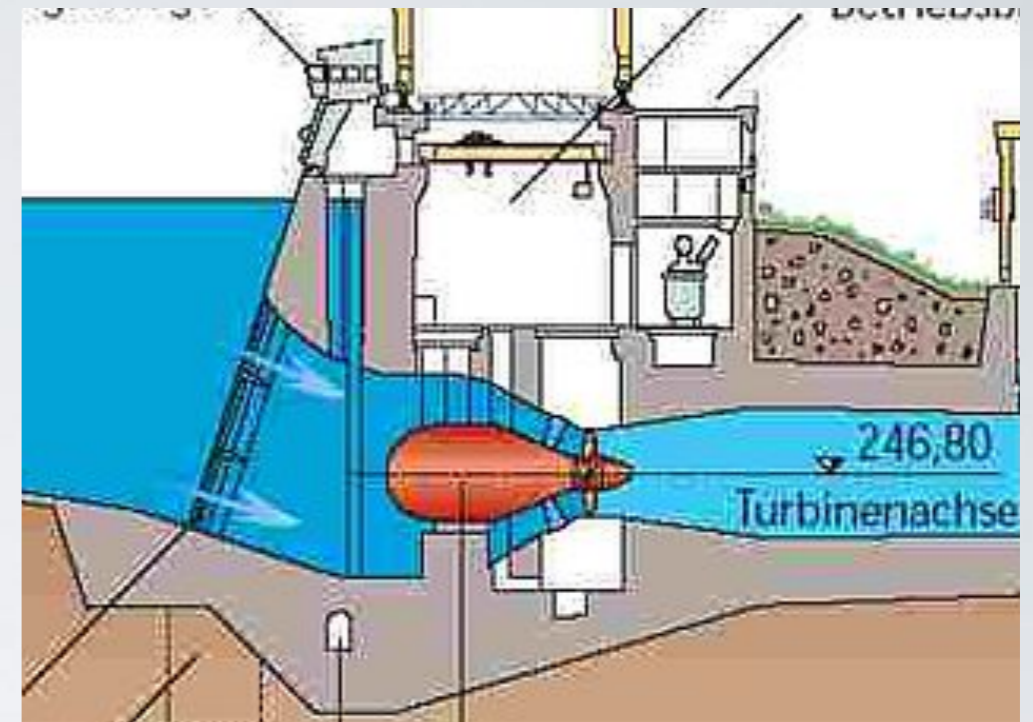
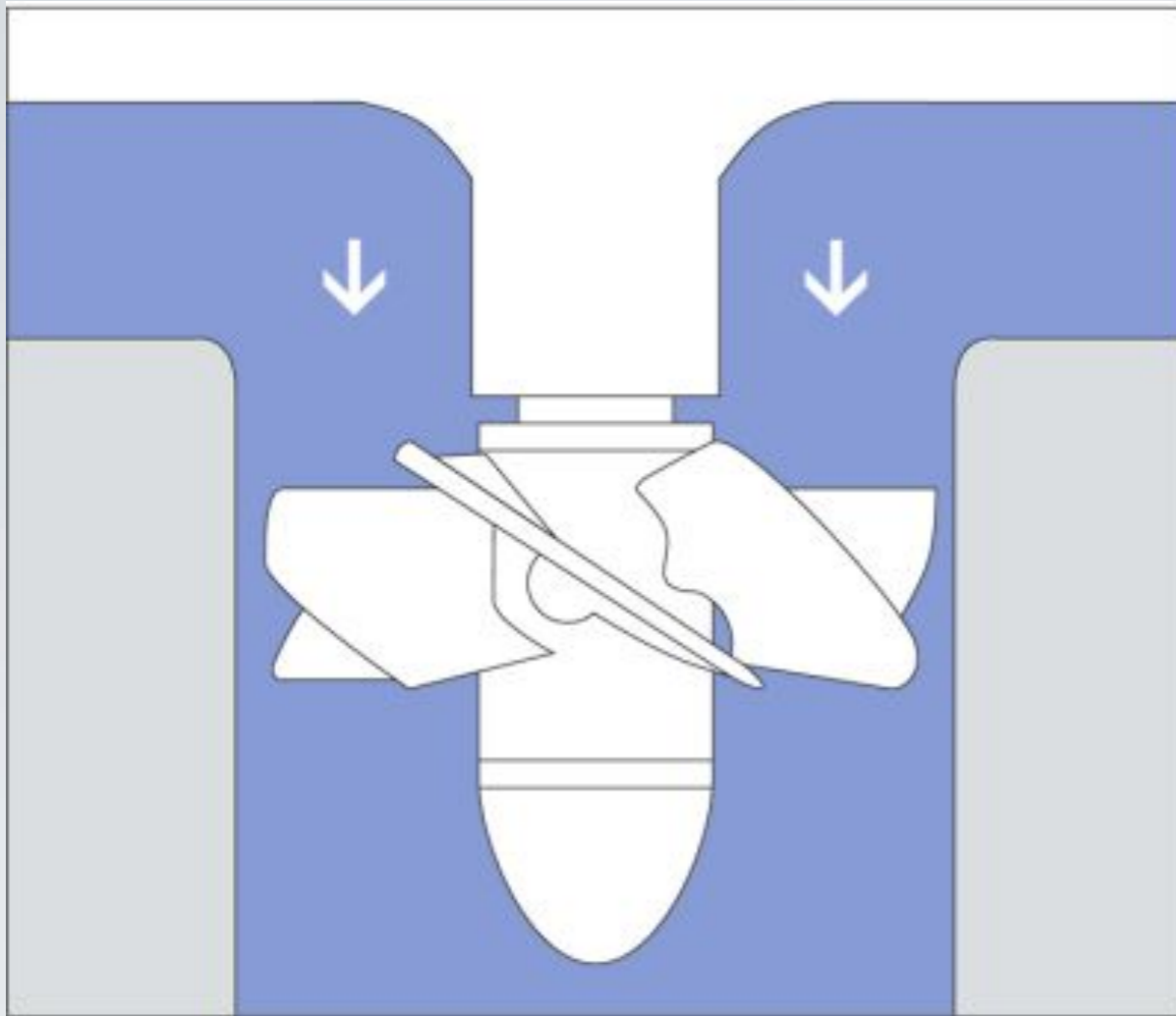
Medium head
20-150 m

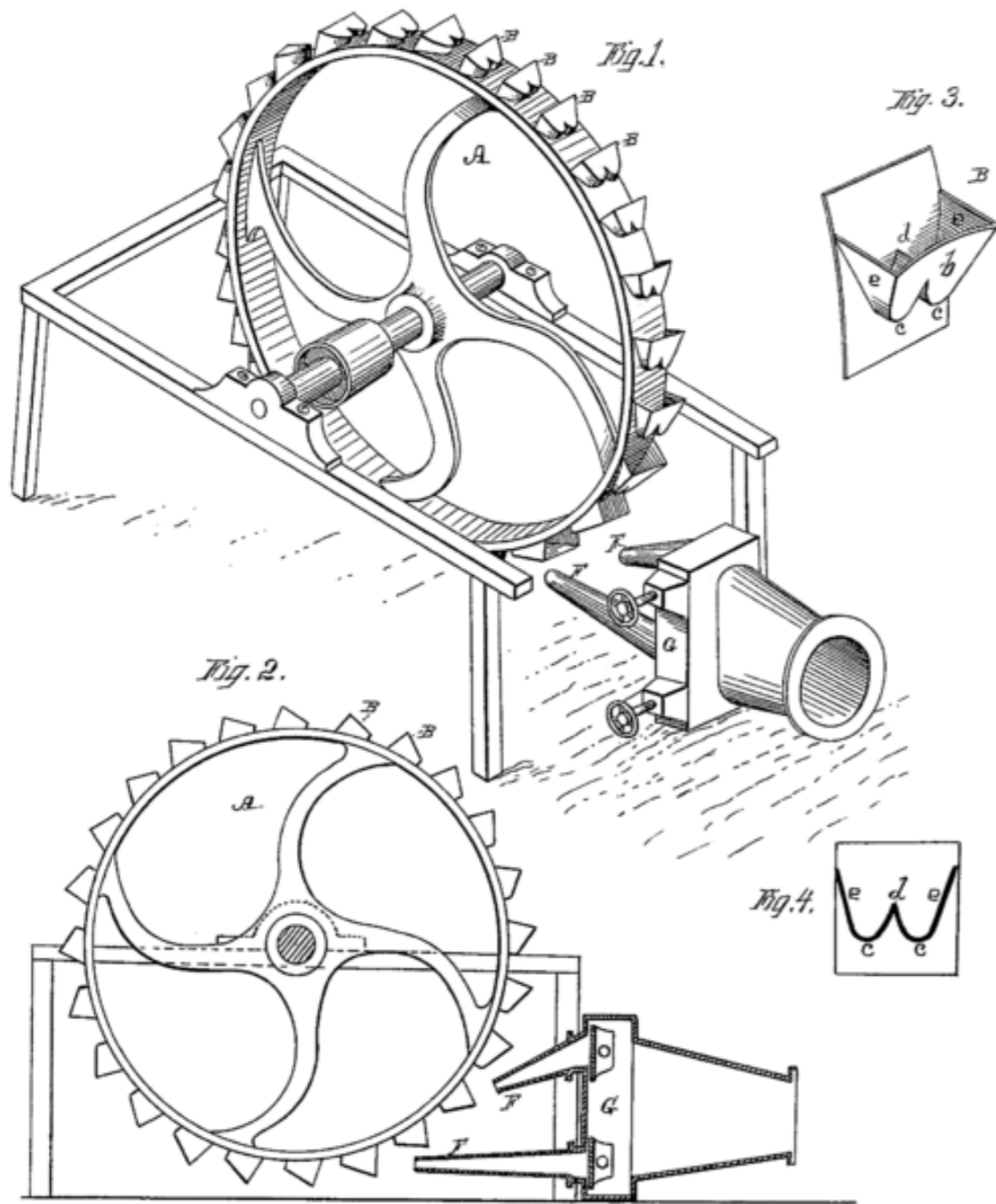


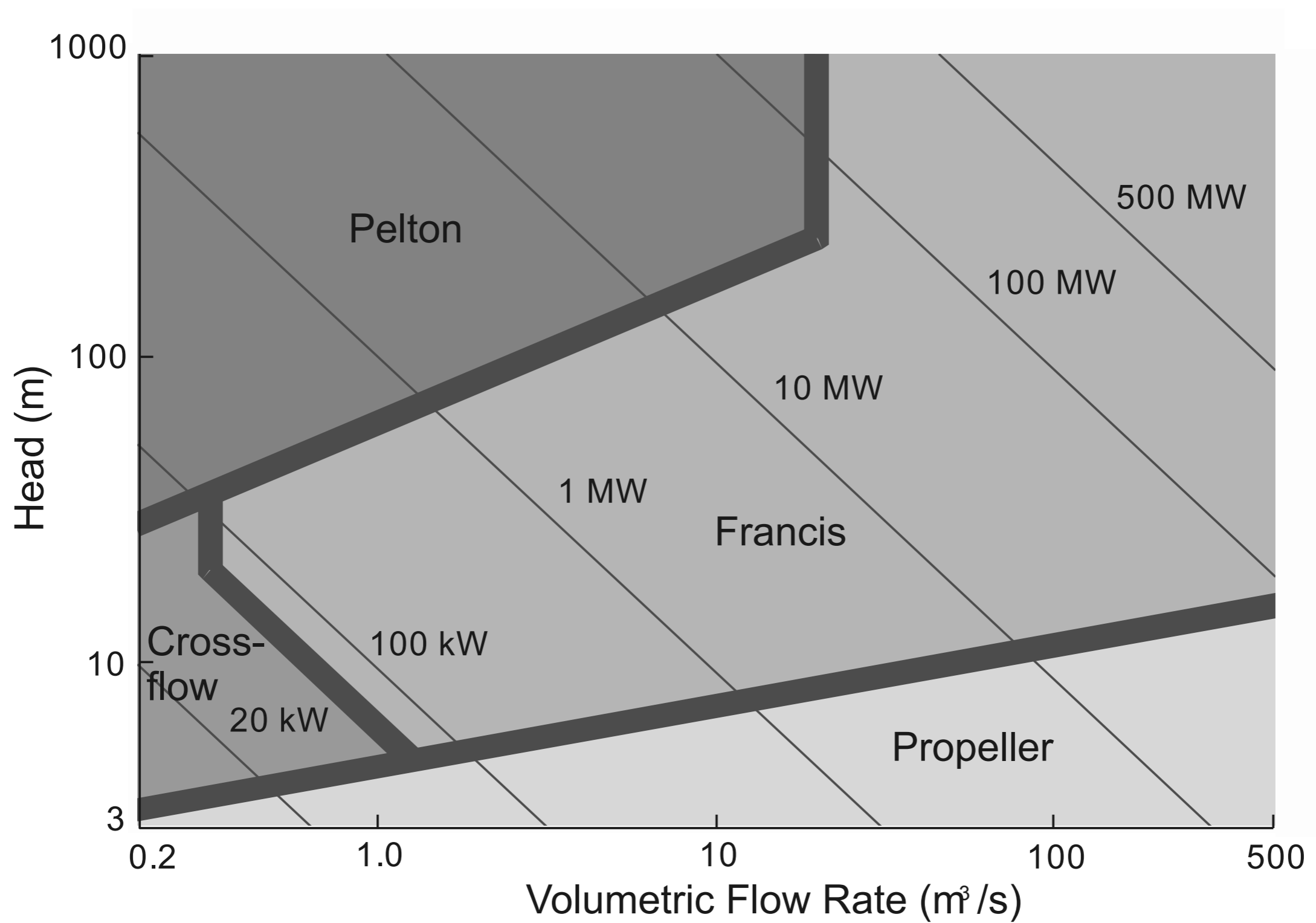
Large head
>150 m







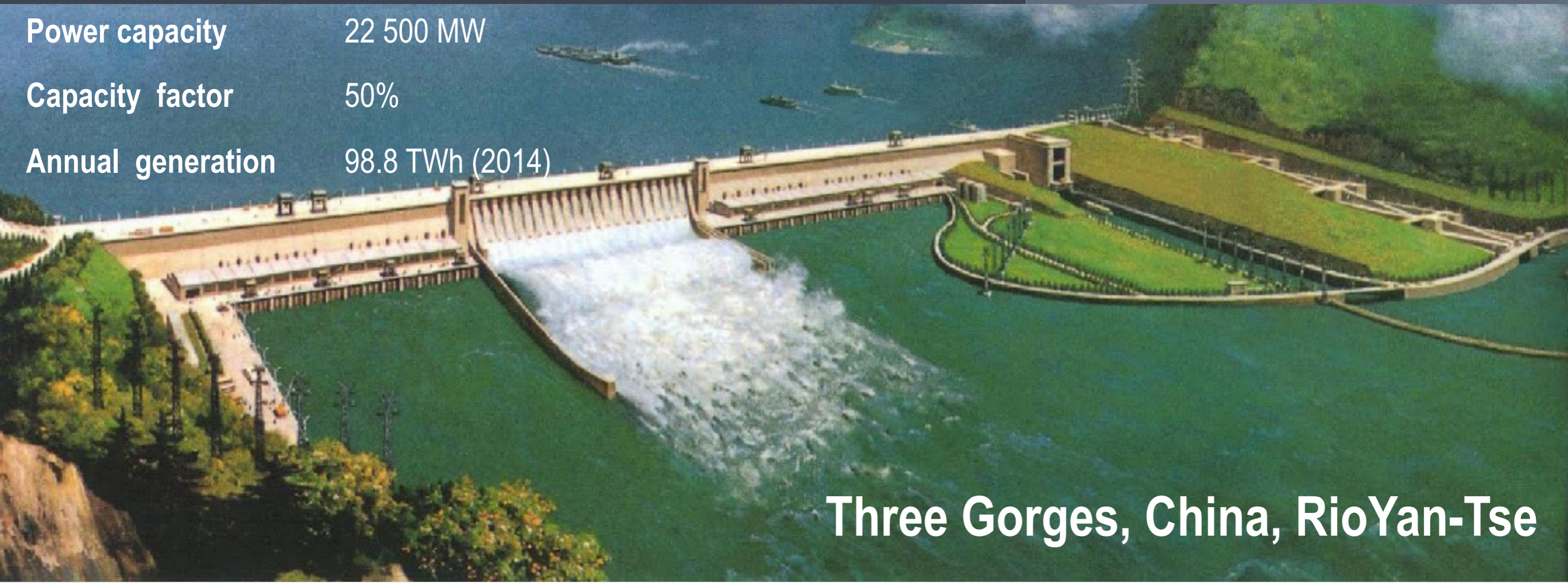




hydro power plant

hydro

Power capacity 22 500 MW
Capacity factor 50%
Annual generation 98.8 TWh (2014)



Three Gorges, China, Rio Yan-Tse



Itaipu, Brasil, Rio Paraná



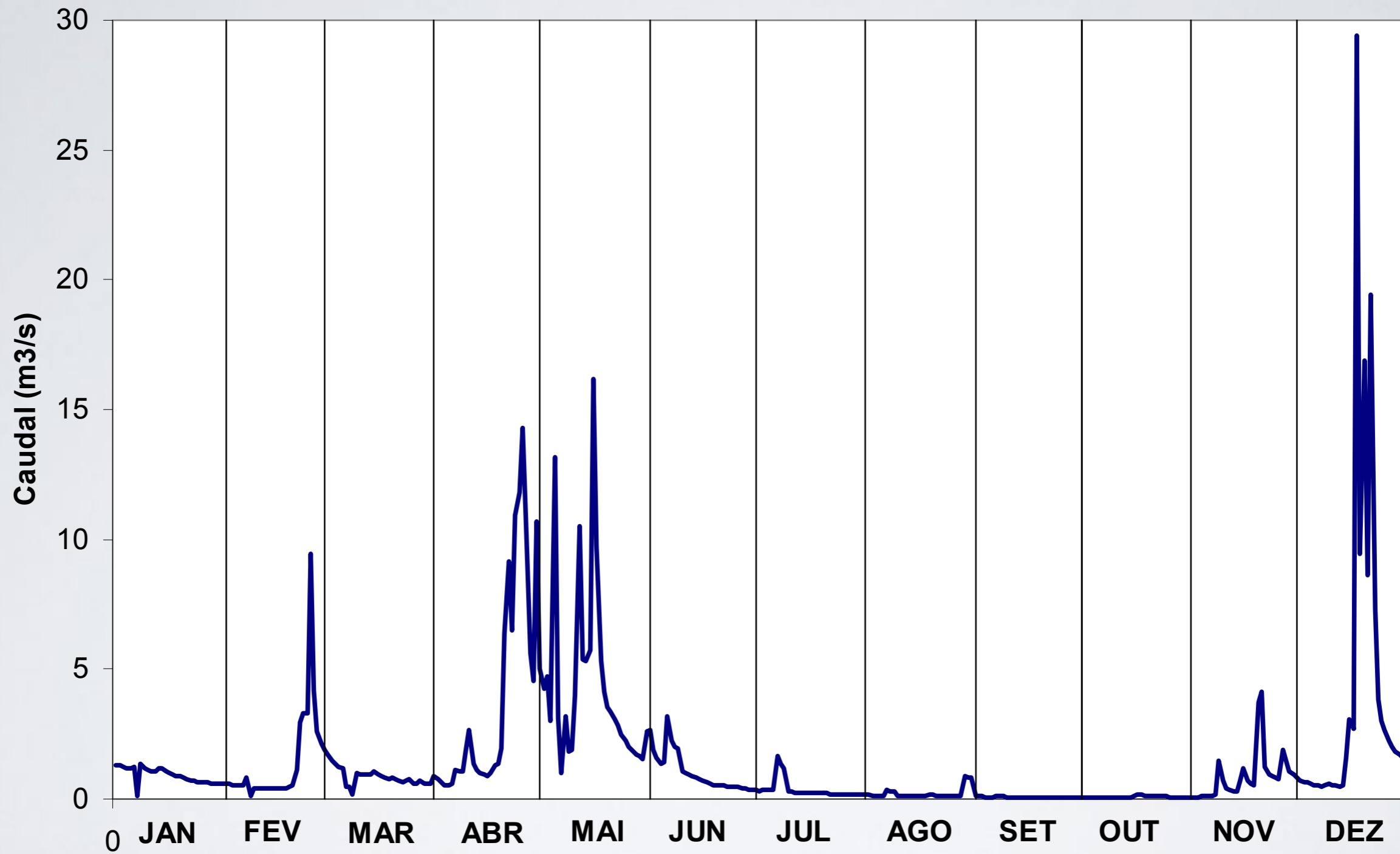
Power capacity	14 000 MW
Capacity factor	84%
Annual generation	103.1 TWh (2015)

- during operation: no release of CO₂, no fuel or water use
- large life time
- low levelized costs of electricity
- flood control and irrigation
- electricity storage by pumping
- leisure landscape

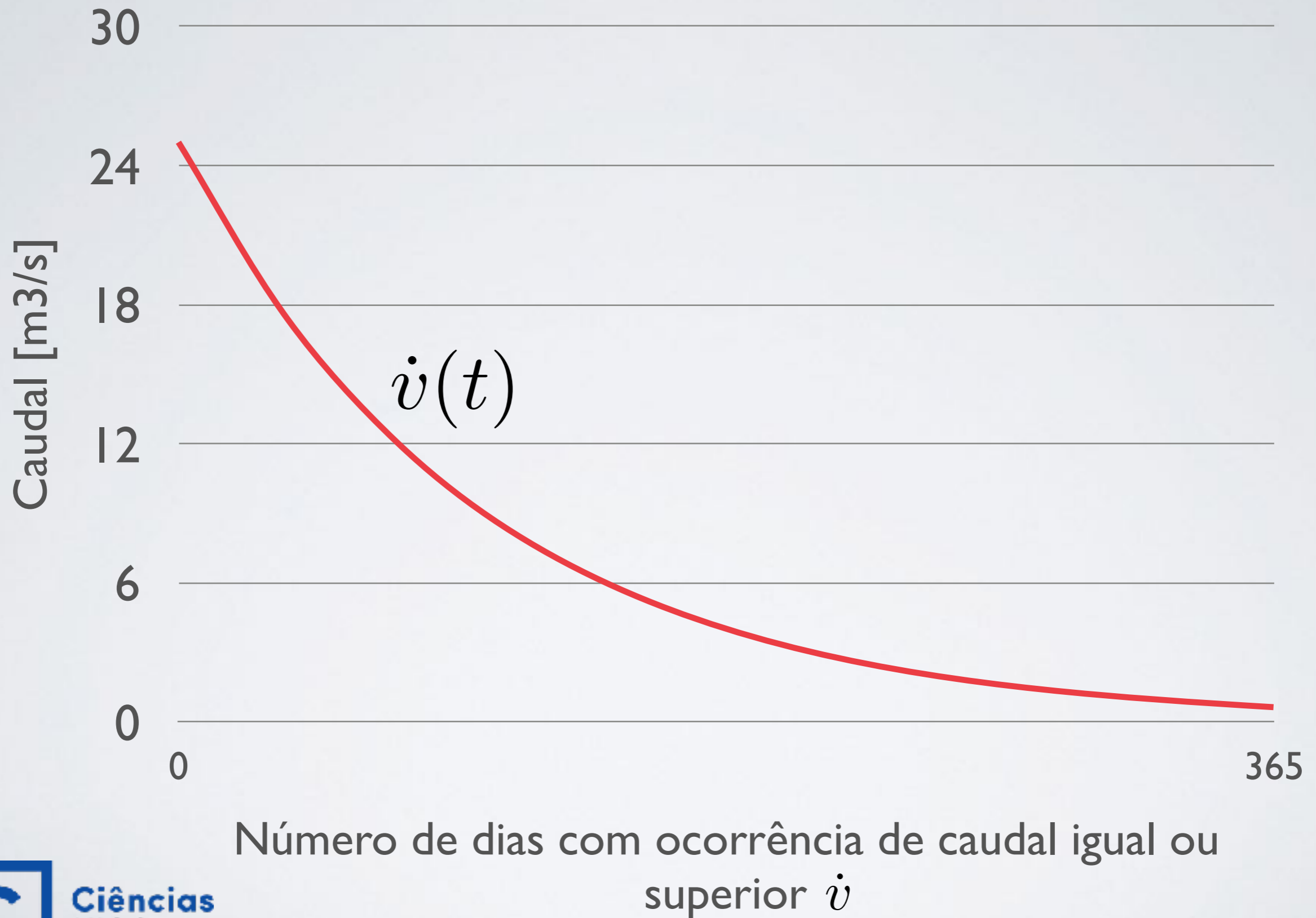
- landscape and ecosystems modification
- fish migration
- methane emissions
- accidents (dams and turbines)
- population resettlement

Technology	Typical Characteristics	Capital Costs (USD/kW)	Typical Energy Costs (LCOE – U.S. cents/kWh)
Power Generation			
Hydropower: Grid-based	Plant size: 1 MW–18,000+ MW Plant type: reservoir, run-of-river Capacity factor: 30–60%	Projects >300 MW: <2,000 Projects <300 MW: 2,000–4,000	2–12
Hydropower: Off-grid/rural	Plant capacity: 0.1–1,000 kW Plant type: run-of-river, hydrokinetic, diurnal storage	1,175–3,500	5–40

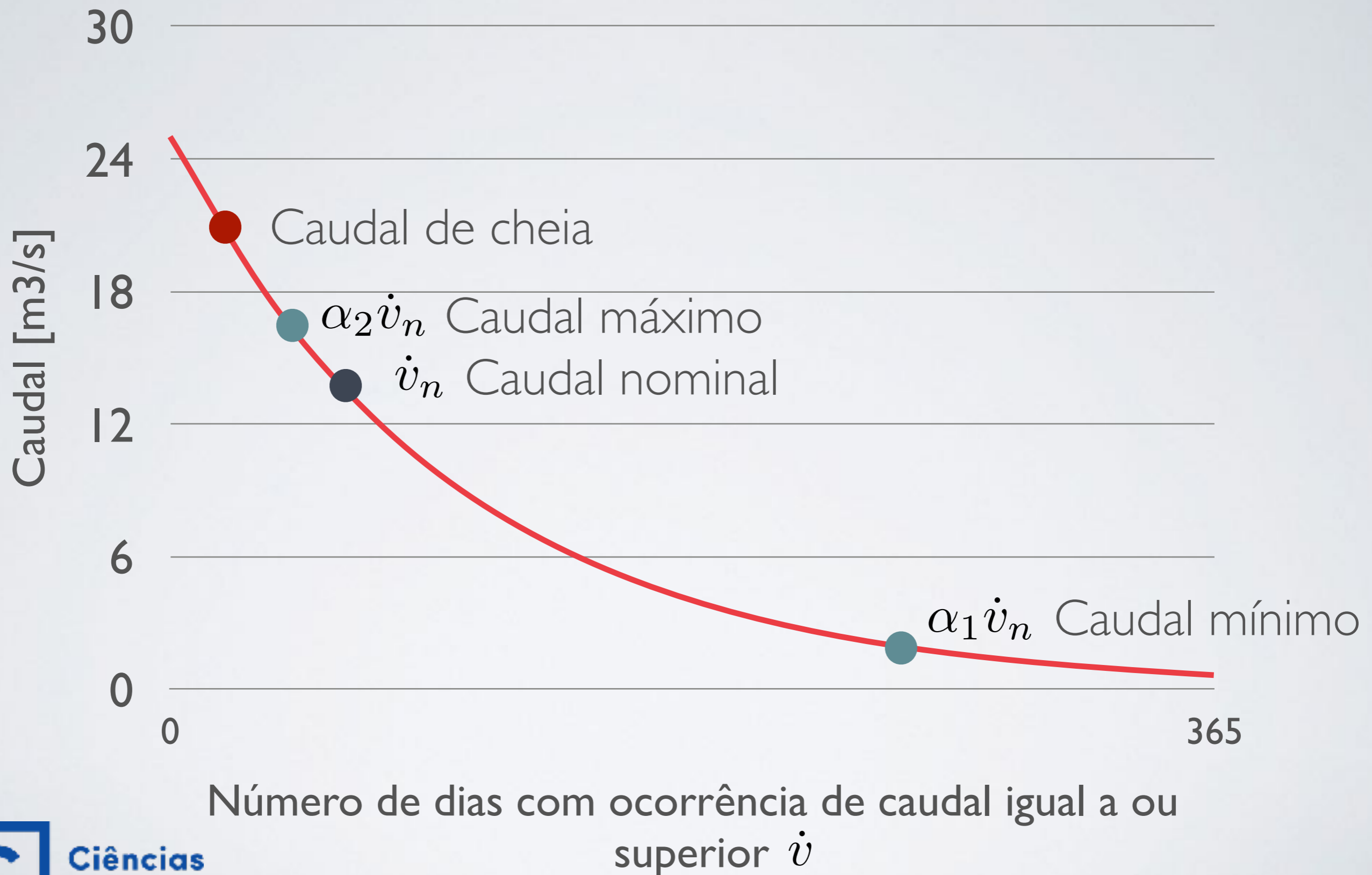
- **Investimento inicial elevado**, mas depende do local (65-75% engenharia civil, 10% sistemas técnicos, 15-20% licenças, terreno).
- Custos de operação e manutenção reduzidos;
- Elevada vida útil
- LCOE depende das condições de operação (factor de capacidade, possibilidade de armazenamento).



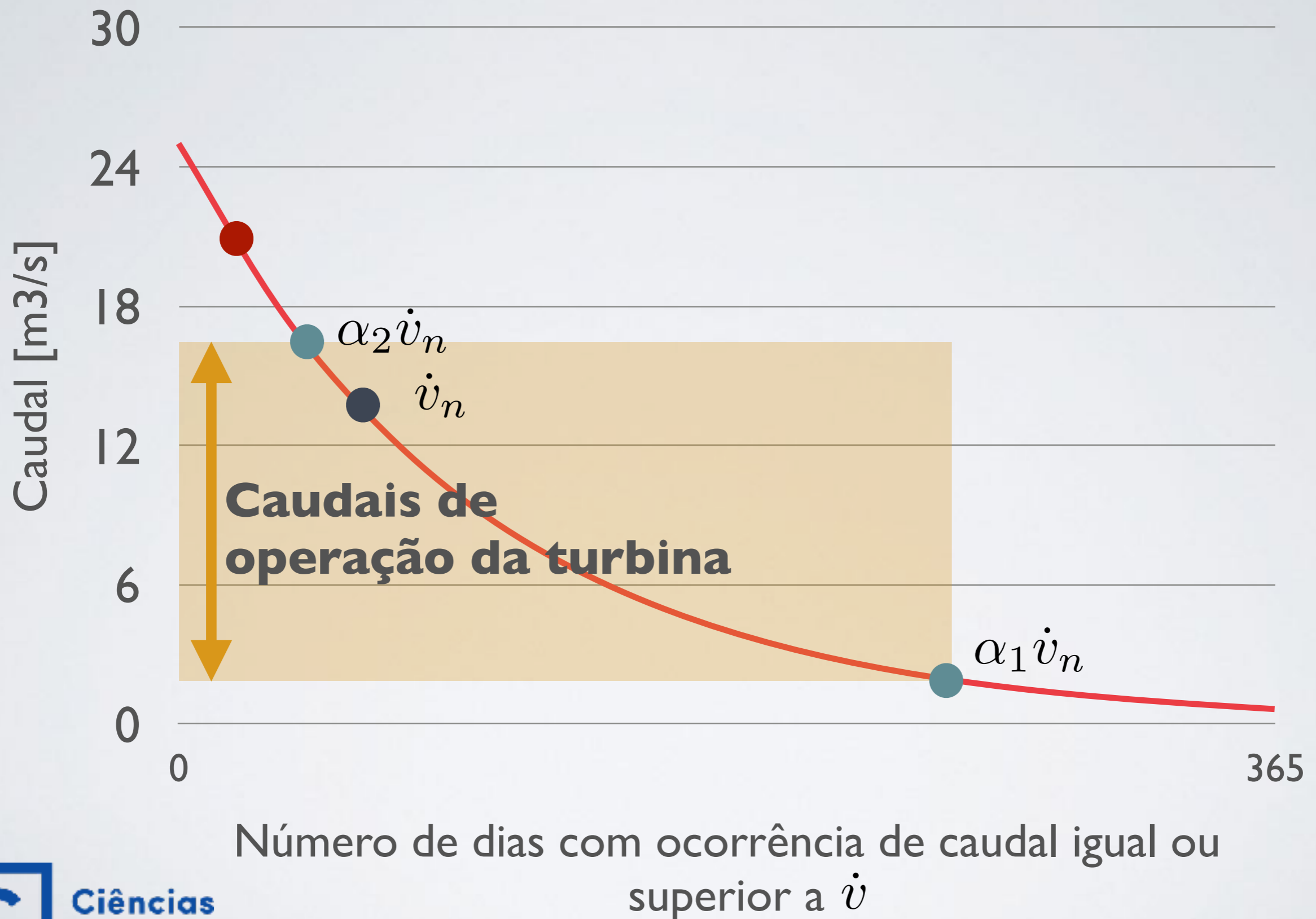
Curva de duração de caudais



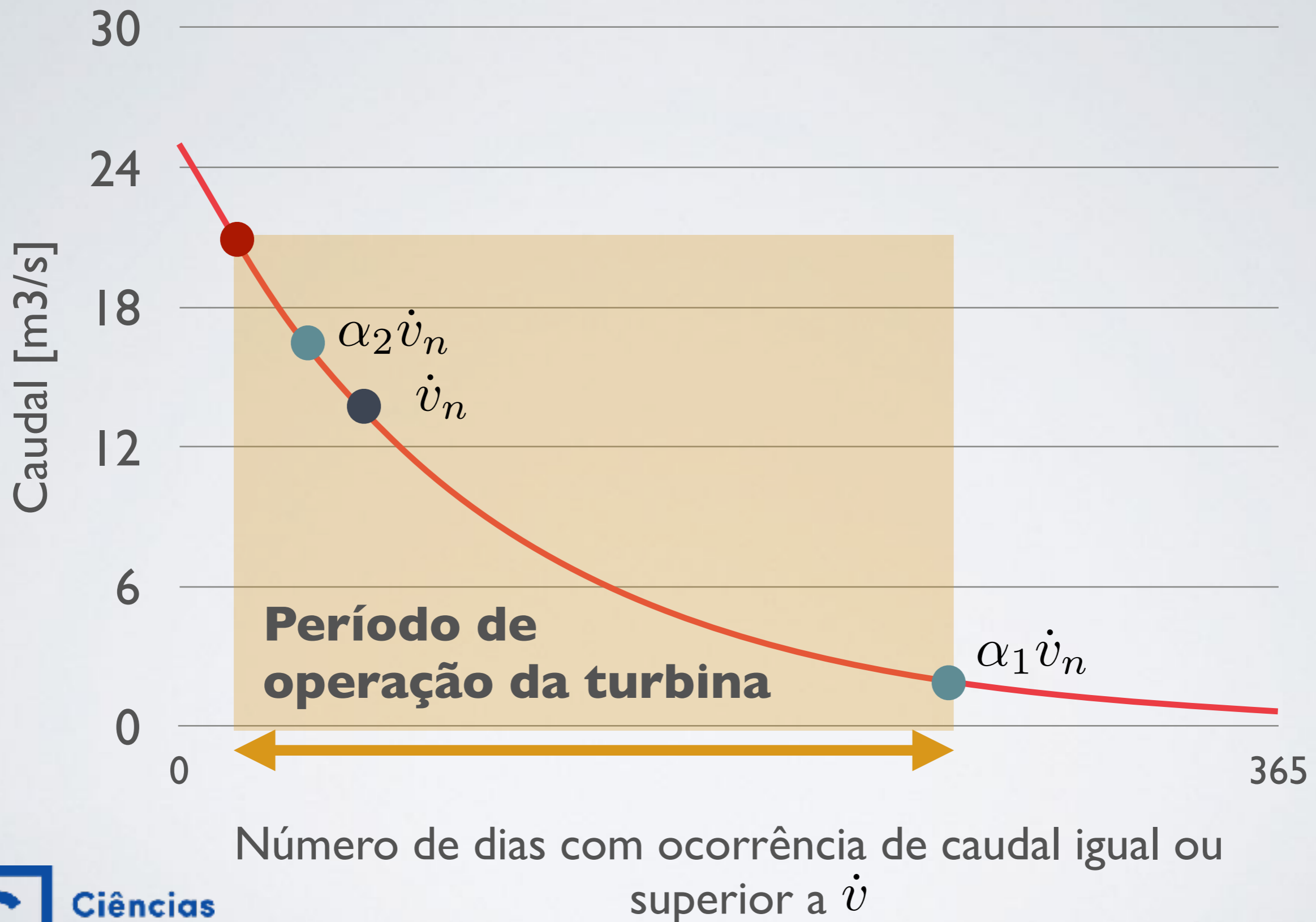
Curva de duração de caudais



Curva de duração de caudais



Curva de duração de caudais



Considerar um coletor solar plano com 1 m^2 de área efectiva de captação solar, localizado a uma latitude de 40° , com $\eta_0 = 0.683$, $\alpha_1 = 1.17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e $\alpha_2 = 0.01 \text{ W}/(\text{K}^2\text{m}^2)$.

Água (335 K): calor específico $4214 \text{ J}/(\text{kgK})$, massa volúmica $982 \text{ kg}/\text{m}^3$.

1. Determinar, para o dia de hoje, qual o ângulo de incidência do sol no painel coletor, posicionado num telhado com uma pendente que faz 30° com a horizontal, às 12h (hora solar).
2. Determinar qual o rendimento do painel para uma irradiância de $800 \text{ W}/\text{m}^2$ para uma temperatura de funcionamento de 80°C e uma temperatura ambiente de 25°C .
3. Determinar o volume de água que é possível aquecer durante o período de tempo de uma hora nas condições explicitadas na questão anterior. Desprezar as perdas térmicas que possam existir no sistema de armazenamento e distribuição. Caso não tenha resolvido a questão anterior considerar um rendimento de 60%.

Num local em que a intensidade média de vento é de 6.8 m/s , foi instalada uma turbina eólica de potência nominal 10.4 kW e com diâmetro de pás de 9.7 m . Conhece-se ainda a curva de potência da turbina e a distribuição de frequência do vento no local:

intensidade da velocidade do vento [m/s]	2.5	5	7.5	10	11-20	>20
potência da turbina [kW]	0	2	5	10	10.4	0
frequência de ocorrência [%]	21.6	24.4	27.1	15.8	11.0	0.1

1. Calcular a electricidade anualmente produzida.
2. Calcular o fator de capacidade da turbina eólica.
3. Calcular o rendimento da turbina para uma intensidade média da velocidade vento de 10 m/s .

Uma turbina eólica com diâmetro de pás de 5 m encontra-se associada a uma bomba para elevar água a uma altura de 30 m . Assumir que as perdas de rendimento na bomba de água são desprezáveis.

1. Sabendo que o rendimento da turbina é de 7% para uma intensidade da velocidade do vento de 8 m/s , calcular o **tempo** necessário para elevar 25 m^3 de água. Considerar que a velocidade do vento é constante durante todo o período.
2. Sabendo que a irradiação média diária no local é de 5 kWh/m^2 , qual seria a **área** necessária de painéis solares fotovoltaicos (rendimento médio 10%) para assegurar a electricidade necessária à bombagem do mesmo volume de água durante o período diário que existe disponibilidade solar.

O recurso eólico disponível, a ser explorado por uma turbina com diâmetro de pás D , pode ser estimado pela seguinte expressão

$$P_{disp} = \frac{1}{8}\pi D^2 \rho U^3$$

com ρ a massa volúmica do ar e U a intensidade da velocidade do vento. Explicar porque é que a potência média disponível num determinado período **não** pode ser estimada por

$$\bar{P}_{disp} = \frac{1}{8}\pi D^2 \rho \bar{U}^3$$

com \bar{U} a intensidade média da velocidade do vento nesse mesmo período.

BIBLIOGRAFIA

Ehrlich, R. Renewable Energy, a first course
Hydropower (8.1, 8.5)

Boyle, G. Renewable Energy, Power for Sustainable Future
Hydroelectricity (5.)